

Concentración e inmovilización de residuos
líquidos radiactivos.
Estudios de Laboratorio

por

Nuche Vázquez, F. y de Lora Soria, F.

Toda correspondencia en relación con este trabajo debe dirigirse al Servicio de Documentación Biblioteca y Publicaciones, Junta de Energía Nuclear, Ciudad Universitaria, Madrid-3, ESPAÑA.

Las solicitudes de ejemplares deben dirigirse a este mismo Servicio.

Las publicaciones señaladas con la signatura /I pertenecen a la categoría a, "Memorias Científicas Originales"; las señaladas con la signatura /N pertenecen a la categoría b, "Publicaciones Provisionales o Notas Iniciales"; y los señalados con la signaturas /C, /CM, /B, /Conf pertenecen a la categoría c, "Estudios Recapitulativos" de acuerdo con la recomendación GC/VII/RES/150 del OIEA, y la UNESCO/NS/177.

Se autoriza la reproducción de los resúmenes analíticos que aparecen en esta publicación.

Este trabajo se ha recibido para su publicación el mes de Diciembre de 1968.

Depósito legal nº M-7144-1969

I N D I C E

	Págs.
1. INTRODUCCION	1
2. DESCRIPCION DEL PROCESO	2
3. TIPOS DE ASFALTO	3
4. RESIDUOS ESTUDIADOS	4
5. EQUIPOS	6
6. TRABAJO EXPERIMENTAL	7
6.1. Elección del tipo de asfalto	7
6.2. Ensayos con soluciones de desenvainado alcalino	8
6.3. Ensayos con residuos correspondientes a un diagrama de flujo con TBP al 6%	12
6.4. Ensayos con residuos correspondientes a un diagrama de flujo con TBP al 15%	12
7. CONCLUSIONES	14
8. BIBLIOGRAFIA	16
APENDICE	
NORMAS DE SEGURIDAD	17



CONCENTRACION E INMOVILIZACION DE RESIDUOS LIQUIDOS
RADIATIVOS. ESTUDIOS DE LABORATORIO.

Por

NUCHE VAZQUEZ, F.[⊗] y DE LORA SORIA, F.^{⊗⊗}

1. INTRODUCCION

Hasta que no fueron superadas las dificultades más urgentes de la tecnología nuclear no se comenzó a considerar sistemáticamente el problema de los residuos radiactivos. Y hasta ese momento la forma de resolverlo fué la más elemental: almacenarlos en zonas más o menos controladas. Con el desarrollo de la nueva fuente de energía aumentaba el volumen de residuos. Consecuencia inmediata fué decidir la reducción del volumen a almacenar. Para el caso de los residuos de radiactividad intermedia ([⊗]), para los que se utilizan las siglas ILW, la evaporación es un buen sistema de reducción de volumen. Se producen así un condensado descontaminado o de baja radiactividad, y un concentrado de alta radiactividad, que se almacena. La investigación paralela sobre la influencia de los productos de fisión en la biosfera aconsejó que los concentrados se almacenaran "inmovilizados".

Por inmovilización se entiende la fijación de los productos de fisión en un medio inerte a los agentes exteriores y a la radiación, de forma tal que no puedan dispersarse, o lo hagan en una proporción "permisible" en la zona de

([⊗]) En este trabajo se consideran los siguientes niveles de radiactividad específica:

- Bajo, menor de 0,1 mC/l
- intermedio, entre 0,1 y 10 mC/l.
- alto, mayor de 10 mC/l.

⊗ Fischer Porter Ibérica

⊗⊗ División de Materiales.

almacenamiento. Así el control de la zona queda perfectamente determinado y el almacenamiento se pueda considerar permanente. Se han estudiado como medios de fijación, cemento (1) (2) (3) y asfalto (4) (5) (6) (7) (8).

El empleo de asfalto sobre cemento presenta las siguientes ventajas:

- a) mayor reducción del volumen de los residuos,
- b) mayor cantidad de residuos fijados,
- c) mejor resistencia a la lixiviación,
- d) mayor resistencia mecánica.

El asfalto presenta sus mejores propiedades adhesivas en ausencia de agua (9). La forma de eliminación del agua puede ser por evaporación, como se realiza en USA (7) y en Bélgica (4) (5) o por evaporación en presencia de agentes tenso-activos (6) (8).

Se ha adoptado como medida de la fijación de las sales activas en el asfalto, la velocidad de lixiviación del producto en agua. Término mejor empleado que velocidad de disolución puesto que la matriz asfáltica no se disuelve. Los ensayos de lixiviación indican una contaminación superficial de las muestras que decrece rápidamente durante las primeras semanas (7). La velocidad de lixiviación se calcula usando la expresión:

$$\frac{\text{Actividad lixiviada/cm}^2 \cdot \text{día}}{\text{Actividad/g de producto}} = \text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$$

Los resultados indican que la velocidad de lixiviación es una función de la solubilidad de las sales en agua. Según Blanco (7), para las condiciones más extremas de incorporación, 60 por ciento en peso de sales en el producto final, la velocidad de lixiviación es del orden de $5 \times 10^{-4} \text{ g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$.

En este trabajo se describen los ensayos de laboratorio realizados en la Sección de Combustibles Irradiados de la J.E.N. sobre concentración e inmovilización en asfalto de residuos líquidos de nivel intermedio de radiactividad, procedentes del reproceso de combustibles nucleares irradiados.

Estos ensayos se proyectaron y llevaron a cabo, como fase previa al proyecto CIES, de construcción de una planta para el tratamiento de residuos líquidos radiactivos en el Centro Nacional de Energía Nuclear "Juan Vigón" (10) (11) (12).

2. DESCRIPCION DEL PROCESO.

Se eligió un proceso discontinuo de mezcla y evaporación conjunta de los residuos en presencia del asfalto. Para este proceso la secuencia de operaciones es la siguiente:

- a) Carga del asfalto en el reactor.
- b) Calentamiento del asfalto a 70 °C y comienzo de la agitación.
- c) Elevación de la temperatura a 100 °C y comienzo de la alimentación de residuos, procurando mantener un caudal de alimentación lo más próximo posible al de evaporación.
- d) Descarga del producto final una vez terminada la evaporación, con o sin calentamiento previo a la descarga a una temperatura superior a 100 °C.
- e) Análisis del condensado, y si resulta necesario descontaminación mediante intercambio iónico.

3. TIPOS DE ASFALTO.

Se hizo un estudio previo de los distintos tipos de productos asfálticos para elegir los más adecuados a la forma de realizar el proceso, descrita en el apartado anterior.

Existen cinco tipos de asfalto (8) (9):

- a) Asfaltos de destilación directa, que corresponden a los residuos de destilación directa de los aceites pesados del petróleo.
- b) Asfaltos soplados, obtenidos por oxidación. Al soplar aire en ciertos aceites de petróleo se producen productos asfálticos de carácter coloidal. De una manera general, son poco susceptibles a las variaciones de temperatura.
- c) Asfaltos de cracking, que son muy susceptibles a las variaciones de temperatura y son adecuados para aplicaciones en las que se precisan una gran fluidez a temperaturas altas y un endurecimiento rápido al enfriar.
- d) "Cut-backs", son asfaltos fluidificados mediante la adición de un disolvente.
- e) Emulsiones asfálticas, son emulsiones de un asfalto en agua, que se estabilizan con la ayuda de un agente tensio-activo, como emulsionante. Según el tipo de agente emulsionante empleado, las emulsiones asfálticas pueden ser catiónicas o aniónicas.

De estos cinco tipos solamente las emulsiones y los cut-backs presentan una fluidez aceptable para su manejo a temperatura ambiente; los otros no son fluidos hasta la denominada temperatura de bombeo, en otras palabras,

han de mantenerse calientes para su manipulación.

El asfalto de cracking es muy quebradizo y algo menos el de destilación directa. Los asfaltos sopladados, al ser poco susceptibles a las variaciones de temperatura, pueden sufrir un endurecimiento en el momento de la mezcla.

Los cut-backs tienen alto poder aglomerante pero el disolvente, aceites ligeros o medios procedentes de la destilación de la hulla, aparece en el condensado. Si el condensado tiene que ser descontaminado posteriormente la presencia de fase orgánica es un inconveniente serio.

Por todo lo anterior se eligieron las emulsiones asfálticas como agente de inmovilización, aunque se hicieron unos ensayos previos con cut-backs (ver apartado 1.5.1.).

Las emulsiones asfálticas tienen un punto de inflamación de 280 °C (9), densidad 1,09 g/cm³, gran adherencia, como todos los materiales bituminosos, pero cuando están exentas de humedad. Por tanto, es imprescindible la total eliminación del agua de la emulsión y de los residuos para conseguir una perfecta fijación de las sales activas.

De los distintos tipos de emulsión se ha utilizado una emulsión tipo curado lento para mezcla con agregados finos (13), con un contenido en agua del 38 por ciento, denominada Emulsión Asfáltica RS, empleada en la construcción de carreteras.

4. RESIDUOS ESTUDIADOS.

Se prepararon mezclas sintéticas inactivas que representaban tres tipos de residuos de radiactividad intermedia de una planta de reproceso:

- a) soluciones de desenvainado alcalino,
- b) residuos correspondientes a un diagrama de flujo con TBP al 6%, y
- c) residuos correspondientes a un diagrama de flujo con TBP al 15%.

En los dos últimos se incluyen los procedentes de las operaciones siguientes:

- 1) Lavados alcalinos del TBP.
- 2) Lavados ácidos del TBP.
- 3) Refinado del segundo ciclo de descontaminación.
- 4) Eluío de la purificación final de U.
- 5) Residuos de la purificación final de Pu.
- 6) Solución alcalina del sistema de "off-gas".
- 7) Eluíos del sistema de descontaminación de residuos de baja radiactividad.

TABLA I. - Composición química de los residuos estudiados

Tipo	Refª.	Componentes, g/l								pH
		AlO ₂ Na	NaOH	NO ₃ Na	NO ₂ Na	CO ₃ Na ₂	NO ₃ H	Al(NO ₃) ₃	(SO ₃ NH ₂) ₂ Fe	
a)	AlNa-1	55,76	80,8	84,15	7,1	---	----	---	----	12
	AlNa-3	56,6	58	81,6	4,14	---	----	---	----	12,2
	AlNa-5	57,4	85,6	80,75	4,14	---	----	---	----	12,05
	AlNa-70	60,7	62	58,65	8,28	---	----	---	----	12,5
	AlNa-8	70,5	69,2	80,4	8,21	---	----	---	----	12,1
b)	IL-6	--	16	---	---	7	27	44	0,2	3,9
c)	IL-15	--	20	---	---	7	40	3	0,1	12,1

En la tabla I se dan las composiciones de los residuos definidos en a), b) y c).

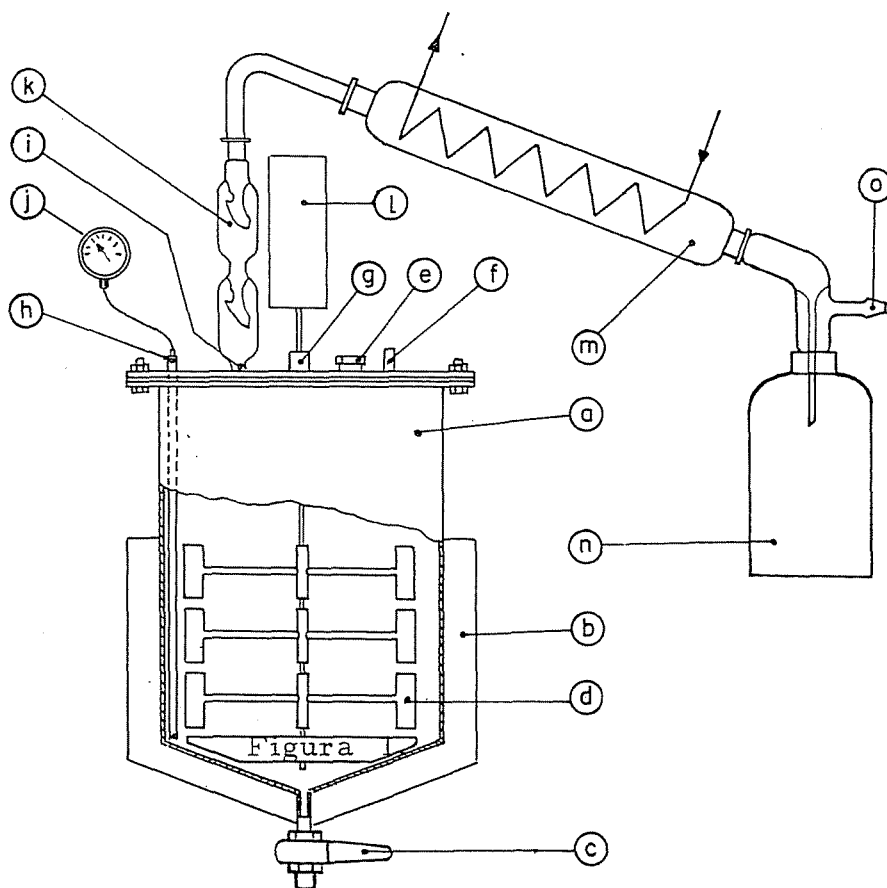
5. EQUIPOS

En la figura 1 puede verse un esquema del equipo utilizado para la realización de los ensayos. A continuación se describe brevemente. Las letras entre parentesis refieren a la figura 1.

El reactor (a) es de acero inoxidable de 2 mm de espesor, de forma cilíndrica y fondo ligeramente cónico, con capacidad de nueve litros. Está provisto de una tapa de acero inoxidable de 4 mm de espesor acoplada al cuerpo mediante dos bridas locas y junta de teflón. A la tapa se conectan:

- la entrada de alimentación (f),
- la entrada de asfalto (e),
- el paso del eje del agitador (g) formado por un prensaestopas de grafito,
- el paso del termómetro (h), y
- la salida del vapor (i).

La calefacción se realiza mediante una manta eléctrica de 2,5 Kw (b), regulada por un termómetro de resistencia con contactos de mínima y máxima (j).



El sistema de agitación está formado por un motor de 1/4 CV y 1400 rpm acoplado a un variador de velocidad (l) y un agitador tipo "Kneading" de cuatro pisos de agitación con cuatro palas rectas en cada piso (d).

La separación de gotas del vapor se realiza en un separador de vidrio de dos bolas (k). El condensador es un refrigerante de vidrio de 60 cm de longitud (m).

El condensado se recoge en un frasco (n) de 2 l y a través del ramal (o) puede conectarse a un sistema de vacío, para trabajar a una pequeña depresión.

La descarga del producto final se realiza a través de una válvula (c) de acero inoxidable, de bola, con junta de teflón. El producto se ha recogido en recipientes de hoja de lata, o en frascos de polietileno refrigerados exteriormente con agua.

6. TRABAJO EXPERIMENTAL

6.1. Elección del tipo de asfalto.

Se hicieron tres ensayos comparativos, manteniendo fijas todas las condiciones excepto el tipo de asfalto empleado: Emulsión RS, "cut-back" CR4 y "cut-back" MC O. Las condiciones fijas fueron:

- Relación ILW/asfalto, V/V = 1:1.
- Agitación a 500 rpm.
- Temperatura final = 100 °C.
- Alimentación : Al-Na-1 (ver tabla I).

Los resultados obtenidos aparecen en la Tabla II.

TABLA II. - Resultados de los ensayos para la elección del tipo de asfalto.

Ensayos Ref ^a .	Tipo de asfalto	Factor de reducción de volumen	Condensado
IW-1	Emulsión RS	1,01	1 fase
IW-2	"Cut Back" CR 4	0,82	2 fases
IW-3	"Cut Back" MC 0	0,68	2 fases

El factor de reducción de volumen viene dado por el cociente entre el volumen del producto final y el volumen de ILW alimentado.

De los resultados de la Tabla II se desprende que es mejor utilizar emulsión asfáltica, ya que aunque los productos obtenidos con Cut-back son aceptables, se produce aumento de volumen y aparece fase orgánica en el condensado. El resto del trabajo se realizó con emulsión asfáltica.

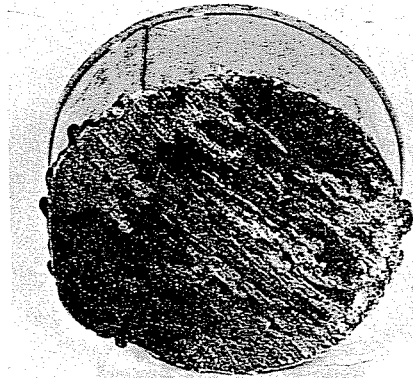
6.2. Ensayos con soluciones de desenvainado alcalino.

En esta serie de ensayos se mantuvieron fijas las siguientes condiciones:

- Tipo de asfalto: emulsión RS
- Temperatura final: 160 °C

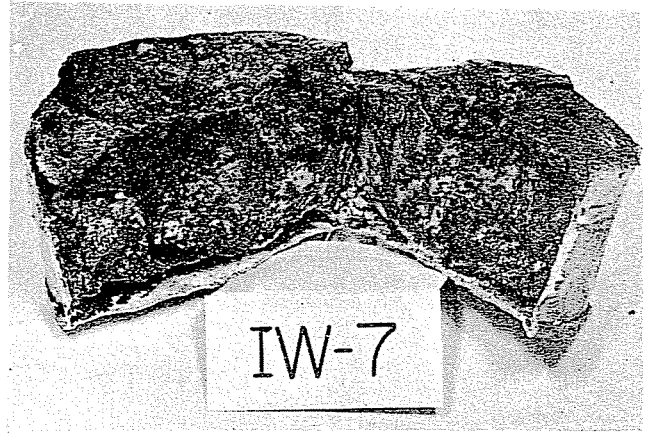
y se varió la relación ILW/asfalto, la alimentación y la velocidad y tipo de agitación. En efecto, en los ensayos IW-4, -5, -6 y -7 se empleó un solo piso de agitación formado por un agitador de seis palas rectas a 45°. En los ensayos IW-8, -9, -10 y -11 se utilizó el sistema de agitación descrito anteriormente (apartado 5.). La mayor eficacia viene definida por la eliminación de agua y por la mezcla íntima de las sales en la matriz asfáltica. Si ambas cosas no ocurren hay segregación y las sales eflorescen en la superficie, después de un cierto tiempo de dejar las muestras expuestas al aire. Esto queda gráficamente demostrado por las fotografías de productos finales presentadas en las figuras 2 y 3. Cambiando la forma de agitación se logró bajar el contenido de agua en el producto final de 27,6 a 12,5 por ciento en volumen y el aspecto de las muestras varió completamente (productos IW-4 e IW-8 de la figura 2), permaneciendo constantes el resto de condiciones. El aspecto de muestras con contenido en agua de 7,5, 11,9 y 3,6 por ciento, respectivamente, después de 20 días expuestas al aire puede verse en la figura 3 (productos IW-12, -15 y -17). A veces la mezcla ha sido íntima y la eliminación de agua completa, pero hay segregación y eflorescencia debido a que la cantidad de emulsión asfáltica alimentada es insuficiente (producto IW-7 de la figura 2).

En la Tabla III se presentan los resultados obtenidos empleando un sólo piso de agitación a 1000 rpm, en la Tabla IV los correspondientes a los ensayos con cuatro pisos de agitación a 200 rpm y en la Tabla V los análisis de los condensados obtenidos en estas dos series de ensayos.



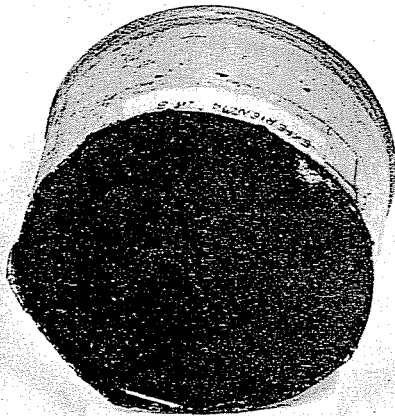
IW-4

Emulsión asfáltica RS = 1 vol
 Solución deservainado alcalino = 1 vol
 1 Piso agitación - 1000 RPM
 % Agua (v/v) = 27,6
 % Sales (p/p) = 22,35



IW-7

Emulsión asfáltica RS = 1 vol
 Solución deservainado alcalino = 10 vol
 1 piso agitación - 1000 RPM
 % Sales (p/p) = 44,11



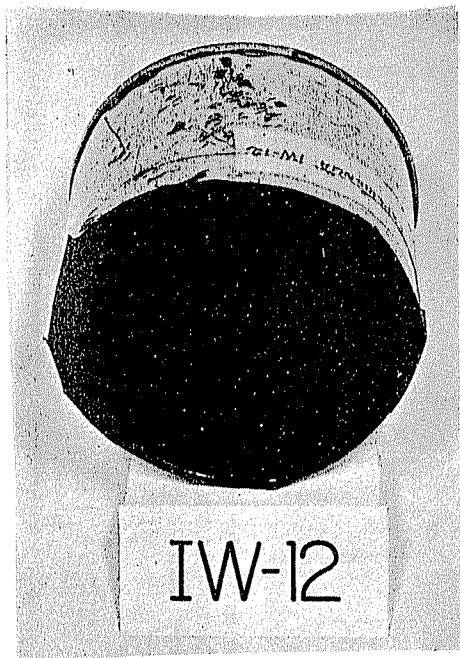
IW-8

Emulsión asfáltica RS = 1 vol
 Solución deservainado alcalino = 1 vol
 4 Pisos agitación - 200 RPM
 % Agua (v/v) = 12,5
 % Sales (p/p) = 23,71

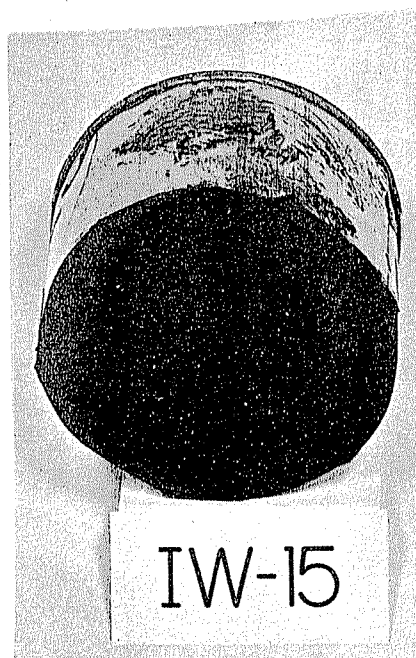


IW-10

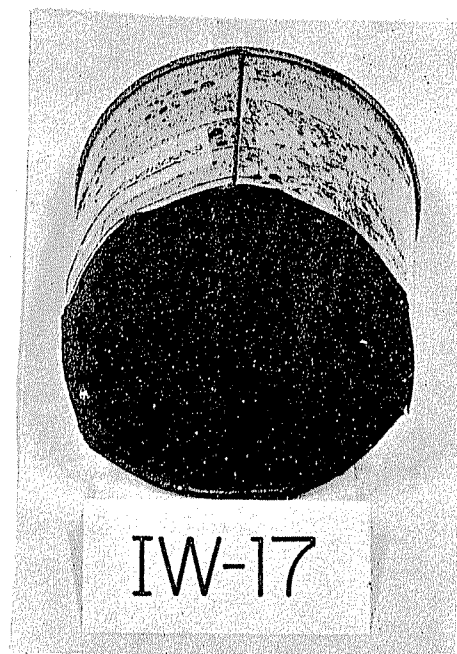
Emulsión asfáltica RS = 1 vol
 Solución deservainado alcalino = 4 vol
 4 Pisos agitación - 200 RPM
 % Agua (v/v) = 39
 % Sales (p/p) = 57,20



Emulsión asfáltica RS = 1 vol
Residuos IL-15 = 1 vol
4 Pisos agitación - 200 RPM
% Agua (V/V) = 7,5
% Sales (P/P) = 10



Emulsión asfáltica RS = 1 vol
Residuos IL-15 = 4 vol
4 Pisos agitación - 200 RPM
% Agua (V/V) = 11,9
% Sales (P/P) = 31,7



Emulsión asfáltica RS = 1 vol
Residuos IL-6 = 1 vol
4 Pisos agitación - 200 RPM
% Agua (V/V) = 3,6
% Sales (P/P) = 13,3

FIGURA 3

TABLA III. - Resultados de los ensayos con un sólo piso de agitación

Ensayo Ref ^a	Alimentación Ref ^a	Relación ILW/asfalto (V/V)	Factor reducción volumen	% Sólidos incorporados (P/P)	% Agua (V/V)
IW-4	Al-Na-1	1 : 1	1,17	22,35	21,8
IW-5	Al-Na-1	2 : 1	1,83	31,93	46,1
IW-6	Al-Na-1	4 : 1	2,60	42,27	80,8
IW-7	Al-Na-5	10 : 1	3,07	44,11	--

TABLA IV. - Resultados de los ensayos con cuatro pisos de agitación

Ensayo Ref ^a	Alimentación Ref ^a	Relación ILW/asfalto (V/V)	Factor reducción volumen	% Sólidos incorporados (P/P)	% Agua (V/V)
IW-8	Al-Na-8	1 : 1	1,25	23,71	3,9
IW-9	Al-Na-8	2 : 1	2,20	38,63	18,7
IW-10	Al-Na-70	4 : 1	4,40	57,20	34,4
IW-11	Al-Na-3	10 : 1	(☒)	(☒)	(☒)
(☒) No pudo descargarse el producto					

TABLA V. - Análisis de los condensados obtenidos en los ensayos de incorporación de soluciones de desvainado alcalino.

Ensayo Ref ^a	Al ³⁺ g/l	NO ₂ ⁻ M	OH ⁻ M	H ⁺ M
IW-4	0	0,002	0	0,001
IW-5	0	0,002	0	0,001
IW-6	0	0,001	0,001	0
IW-7	0	0,001	0,001	0
IW-8	0,001	0,001	0,001	0
IW-9	0,001	0,05	0,001	0
IW-10	0,001	0,001	0,001	0

6.3. Ensayos con residuos correspondientes a un diagrama de flujo con TBP al 6%.

En la Tabla VI se pueden ver los resultados obtenidos en estos ensayos, manteniendo fijas la agitación (4 pisos, 200 rpm), la temperatura (150 - 160 °C) la alimentación (II-6), y el tipo de asfalto (emulsión RS), y variando la relación ILW/asfalto. Los productos obtenidos no presentaron eflorescencia aún después de un período de tres meses de exposición al aire.

En la Tabla VIII (incluida en el apartado 6.4.) se dan los análisis de los condensados obtenidos en estos ensayos.

6.4. Ensayos con residuos correspondientes a un diagrama de flujo con TBP al 15%.

Como en el caso anterior se estudió en estos ensayos el efecto de la variación de la relación ILW/asfalto, manteniendo fijas el resto de condiciones de la forma siguiente:

Alimentación : IL-15
 Agitación : 4 pisos, 200 rpm
 Temperatura : 150-160 °C
 Asfalto : Emulsión RS.

TABLA VI. - Resultados de los ensayos con IL-6

Ensayo Ref ^a	Relación ILW/Asfalto (V/V)	Factor reducción volumen.	% Solidos incorporados (P/P)	% Agua (V/V)
IW-17	1 : 1	1,45	13,3	0
IW-18	4 : 3	1,96	17,5	0
IW-19	2 : 1	3,2	27,5	2,6
IW-20	4 : 1	6,25	55,2	4,6
IW-21	6,6 : 1	(\boxtimes)	(\boxtimes)	(\boxtimes)

(\boxtimes) No pudo descargarse el producto.

En la Tabla VII aparecen los resultados, y en la Tabla VIII los análisis de los condensados, junto con los de la serie anterior (6.3.).

TABLA VII. - Resultados de los ensayos con IL-15

Ensayo Ref ^a .	Relación ILW/Asfalto (V/V)	Factor reducción volumen	% Solidos incorporados (P/P)	% Agua (V/V)
IW-12	1 : 1	1,50	10,00	0
IW-13	4 : 3	1,91	12,50	1,8
IW-14	2 : 1	2,74	17,68	0,5
IW-15	4 : 1	5,30	31,70	5,3
IW-16	6,6 : 1	10,00	62,00	11,3

TABLA VIII. - Análisis de los condensados en los ensayos de incorporación
con IL-6 e IL-15

Ensayo Ref ^a	OH ⁻ M total	Al ³⁺ mg/l	Fe total mg/l	(H ⁺) M
IW-12	0	0,010	0,01	0
IW-13	0	0,01	0,01	0
IW-14	0	0,01	0,01	0
IW-15	0	0,01	0,01	0
IW-16	0	0,01	0,01	0
IW-17	0	0,01	0,01	0
IW-18	0	0,001	0,001	0,007
IW-19	0	0,001	0,001	0,008
IW-20	0	0,001	0,001	0,008

7. CONCLUSIONES

Se ha comprobado la factibilidad del proceso mediante ensayos "en frío". Se aconseja el empleo de emulsión asfáltica que presenta las siguientes ventajas:

- manejo a temperatura ambiente,
- menor cantidad de fase orgánica en el condensado.

Para lograr una fijación completa de las sales en la matriz asfáltica es necesario:

- una buena agitación y
- la eliminación completa del agua.

En las condiciones estudiadas se puede lograr una incorporación de hasta 60 por ciento en peso en sales. No parece posible rebasar esa cantidad.

8. BIBLIOGRAFIA.

1. Anónimo, "Disposal of radioactive wastes in cement", K LX-1377 (1955).
2. BRANCA, G. et al., "Esperienze sulla solidificazione di fanghi contaminati da radioattività mediante inglobamento in calcestruzzo cementizio", CNEN, RT/PROT (63)2, Roma (1963).
3. LAZZARINI, G. et al., L'Industria Italiana del Cemento, 33, 1, 45-52 (1963).
4. DEJONGHE, P. et al., "Insolubilization of radioactive concentrates by asphalt coating", EURAEC-695 (1963).
5. VAN DE VOORDE, N.; DEJONGHE, P., "Insolubilization de concentres radioactifs par enrobage de bitume", Practices in the Treatment of Low and Intermediate-Level Radioactive Wastes, IAEA, Viena (1966), págs. 569-97.
6. RODIER, J. et al., "Solidification des boues radioactives par le bitume", IBID. págs. 713-28.
7. BLANCO, R.E. et al., "Recent developments in treating low and intermediate-level radioactive wastes in the United States of America", Ibid. págs, 793-831.
8. RODIER, J. et al., "Enrobage par le bitume des boues radioactives de la Station de Traitement des Effluents du Centre de Marcoule", CEA-2331 (1963).
9. ARREDONDO, F., "Estudio de materiales bituminosos", C.S.I.C. Madrid.
10. de LORA, F., LOPEZ PEREZ, B.; "Planta Piloto CIES para el tratamiento de residuos líquidos radiactivos procedentes del tratamiento de combustibles irradiados en la JEN (España)", Practices in the Treatment of Low-and Intermediate-Level Radioactive Wastes, IAEA, Viena (1966), págs. 403-10.
11. de LORA, F. et al.; Energía Nuclear, 10, 42, 280-95 (1966).
12. de LORA, F., LOPEZ PEREZ, B.; Energía Nuclear, 11, 47, 184-9 (1967).
13. NORMA UNE, 41. 102
14. NORMA UNE, 7013.

APENDICENORMAS DE SEGURIDAD^(x)

1. - La temperatura de la superficie calefactora no deberá ser mayor de 230 °C.
2. - La superficie de calefacción deberá estar en todo momento sumergida en el asfalto aún cuando el nivel del mismo sea bajo.
3. - Como medio calefactor deberá emplearse un líquido a temperatura controlada. De utilizarse una resistencia eléctrica deberá asegurarse, mediante un termopar soldado a la superficie, la temperatura de la misma y con posibilidad de desconectar la alimentación eléctrica al alcanzarse el límite de temperatura antes indicado. A su vez esta calefacción eléctrica no deberá acoplarse al cuerpo del reactor debido a la conductividad del mismo lo que daría lugar en zonas no bañadas por el asfalto a temperaturas elevadas.
4. - En general la temperatura de calefacción deberá ser próxima a la máxima que se desea que alcance el asfalto siempre sin llegar a los 230 °C.

^(x) Preparadas por el Dr. Gumersindo Pereira. Actualmente en la Compañía Rio-Gulf.

J. E. N. 204-DMa/I 24

Junta de Energía Nuclear, División de Materiales, Madrid.
"Concentración e inmovilización de residuos líquidos radiactivos. Estudios de laboratorio".

NUCHE VAZQUEZ, F. y DE LORA SORIA, F. (1969) 17 pp. 3 figs. 8 tabs. 14 refs.

Se describen los ensayos de laboratorio realizados sobre concentración de residuos líquidos radiactivos de nivel intermedio, y posterior fijación de los concentrados en asfalto.

Se ha comprobado la posibilidad de lograr una incorporación de hasta 60% en peso de sales, con una reducción máxima de volumen de 10.

J. E. N. 204-DMa/I 24

Junta de Energía Nuclear, División de Materiales, Madrid.
"Concentración e inmovilización de residuos líquidos radiactivos. Estudios de laboratorio".

NUCHE VAZQUEZ, F. y DE LORA SORIA, F. (1969) 17 pp. 3 figs. 8 tabs. 14 refs.

Se describen los ensayos de laboratorio realizados sobre concentración de residuos líquidos radiactivos de nivel intermedio, y posterior fijación de los concentrados en asfalto.

Se ha comprobado la posibilidad de lograr una incorporación de hasta 60% en peso de sales, con una reducción máxima de volumen de 10.

J. E. N. 204-DMa/I 24

Junta de Energía Nuclear, División de Materiales, Madrid.
"Concentración e inmovilización de residuos líquidos radiactivos. Estudios de laboratorio".

NUCHE VAZQUEZ, F. y DE LORA SORIA; F. (1969) 17 pp. 3 figs. 8 tabs. 14 refs.

Se describen los ensayos de laboratorio realizados sobre concentración de residuos líquidos radiactivos de nivel intermedio, y posterior fijación de los concentrados en asfalto.

Se ha comprobado la posibilidad de lograr una incorporación de hasta 60% en peso de sales, con una reducción máxima de volumen de 10.

J. E. N. 204-DMa/I 24

Junta de Energía Nuclear, División de Materiales, Madrid.
"Concentración e inmovilización de residuos líquidos radiactivos. Estudios de laboratorio".

NUCHE VAZQUEZ, F. y DE LORA SORIA, F. (1969) 17 pp. 3 figs. 8 tabs. 14 refs.

Se describen los ensayos de laboratorio realizados sobre concentración de residuos líquidos radiactivos de nivel intermedio, y posterior fijación de los concentrados en asfalto.

Se ha comprobado la posibilidad de lograr una incorporación de hasta 60% en peso de sales, con una reducción máxima de volumen de 10.

J. E. N. 204-DMa/I 24

Junta de Energía Nuclear, División de Materiales, Madrid
"Concentration and solidification of liquid radioactive wastes. Laboratory studies"

NUCHE VAZQUEZ, F. y DE LORA SORIA, F. (1969) 17 pp. 3 figs. 8 tabs. 14 refs.

Bench scale runs on concentration of intermediate level radioactive wastes, and incorporation of the concentrates in asphalt, are described.

The feasibility of the process has been demonstrated, with a maximum incorporation of 60 percent of salts into the asphaltic matrix and a volume reduction factor of 10.

J. E. N. 204-DMa/I 24

Junta de Energía Nuclear, División de Materiales, Madrid.
"Concentration and solidification of liquid radioactive wastes. Laboratory studies"

NUCHE VAZQUEZ, F. y DE LORA SORIA, F. (1969) 17 pp. 3 figs. 8 tabs. 14 refs.

Bench scale runs on concentration of intermediate level radioactive wastes, and incorporation of the concentrates in asphalt, are described.

The feasibility of the process has been demonstrated, with a maximum incorporation of 60 percent of salts into the asphaltic matrix and a volume reduction factor of 10.

J. E. N. 204-DMa/I 24

Junta de Energía Nuclear, División de Materiales, Madrid.
"Concentration and solidification of liquid radioactive wastes. Laboratory studies"

NUCHE VAZQUEZ, F. y DE LORA SORIA, F. (1969) 17 pp. 3 figs. 8 tabs. 14 refs.

Bench scale runs on concentration of intermediate level radioactive wastes, and incorporation of the concentrates in asphalt, are described.

The feasibility of the process has been demonstrated, with a maximum incorporation of 60 percent of salts into the asphaltic matrix and a volume reduction factor of 10.

J. E. N. 204-DMa/I 24

Junta de Energía Nuclear, División de Materiales, Madrid.
"Concentration and solidification of liquid radioactive wastes. Laboratory studies"

NUCHE VAZQUEZ, F. y DE LORA SORIA, F. (1969) 17 pp. 3 figs. 8 tabs. 14 refs.

Bench scale runs on concentration of intermediate level radioactive wastes, and incorporation of the concentrates in asphalt, are described.

The feasibility of the process has been demonstrated, with a maximum incorporation of 60 percent of salts into the asphaltic matrix and a volume reduction factor of 10.