



GERENCIA DE PROTECCION RADIOLOGICA Y SEGURIDAD



REPO-35

CNEA-NT 31/87

PRIMEROS ENSAYOS VINCULADOS
A LA VITRIFICACION DE RESIDUOS
LIQUIDOS DE ALTA ACTIVIDAD

Pahissa, M.; Ramallo, T.*;
Ipohorski, M.*; Palacios, T.*;
Mari, E.** y Hense, C.**

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
BUENOS AIRES - ARGENTINA

1987



REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
Dependiente de la Presidencia de la Nación
GERENCIA DE PROTECCION RADIOLOGICA Y SEGURIDAD

REPO-35

CNEA-NT 31/87

PRIMEROS ENSAYOS VINCULADOS
A LA VITRIFICACION DE RESIDUOS
LIQUIDOS DE ALTA ACTIVIDAD

Pahissa, M.; Ramallo, T.*;
Ipohorski, M.*; Palacios, T.*;
Mari, E.** y Hense, C.**

Departamento Ingeniería de Plantas Químicas - C.N.E.A.

* Departamento de Materiales - C.A.C. - C.N.E.A.

** I.N.T.I. - C.I.I.M. - Laboratorio de Vidrios.

BUENOS AIRES
1987

INIS CLASSIFICATION AND KEYWORDS

E52.00

HIGH-LEVEL RADIOACTIVE WASTES
LIQUID WASTES
VITRIFICATION
WASTE MANAGEMENT

PRIMEROS ENSAYOS VINCULADOS A LA VITRIFICACION DE RESIDUOS
LIQUIDOS DE ALTA ACTIVIDAD

PAHISA, M.; RAMALLO, T.; IPOHORSKI, M.*; PALACIOS, E.*;
MARI, E.**; y HENSE, C**

1. INTRODUCCION

Dada la necesidad de contar con una Planta de Tratamiento de Residuos Radiactivos para atender los efluentes de la Planta de Reprocesamiento (L.P.R.), se elaboró una Ingeniería Conceptual. Una vez finalizada ésta, se comenzaron a desarrollar los métodos propuestos para fijar las condiciones técnicas del proyecto ingeniería.

Un área de especial interés dentro de esta Planta es el tratamiento e inmovilización de los residuos líquidos de alta actividad. En la actualidad se acepta casi internacionalmente que la matriz adecuada para incorporar estos residuos es el vidrio borosilicato, ya que se comporta química, térmica y radiológicamente estable.

Para la elección de una formulación se requiere desarrollar un Plan de Caracterización ya que deben considerarse las propiedades que afecten potencialmente al medio ambiente.

El objeto de un Plan de Caracterización es asegurarse, dentro de ciertos márgenes lógicos, el conocimiento de las características del productos vítreo de modo que exista una alta confiabilidad en su almacenamiento en el repositorio y además predecir los cambios o las interacciones que eventualmente pueden ocurrir con el medio circundante.

En la Tabla 1 se presentan las propiedades que pueden medirse cuantitativamente para evaluar el comportamiento del producto vitrificado durante el procesamiento, almacenaje interino, transporte y almacenaje final.

Estas propiedades pueden afectarse significativamente por los procedimientos empleados en el proceso y manipuleo, por la historia térmica y de radiación.

Este trabajo está dirigido hacia el estudio y la puesta a punto de las técnicas del plan de caracterización vinculados con la durabilidad química: lixiviación estática y dinámica.

La lixiviación es considerada el proceso más importante por el cual los elementos radiactivos incorporados a la matriz vítrea pueden ser transportados a las aguas subterráneas y subsiguientemente retornar al medio ambiente.

En un sistema multicomponente, como es el resultado de la incorporación de residuos líquidos de alta actividad al producto vítreo, el proceso de lixiviación es un fenómeno complicado, no fácilmente comprendido en detalle.

Todas las matrices sólidas empleadas para contener residuos radiactivos estarán sujetas al daño por irradiación por los productos de decaimiento nuclear.

La radiación puede influir sobre la lixiviación de los productos vítreos ya sea por daños estructurales a la matriz vítreas y/o cambios en la química de las aguas subterráneas por radiólisis.

Los efectos más prominentes de exposición a la radiación y bombardeo de partículas son: 1) los debilitamientos de las uniones atómicas y el desplazamiento directo de los átomos con el consiguiente reajuste de las estructuras atómicas y 2) las modificaciones microestructurales. Debido a la composición compleja de los vidrios que contienen los residuos nucleares, pueden generarse, a partir de estos fenómenos elementales, un gran número de defectos configuracionales.

Además se trata de investigar si los efectos de radiólisis en el agua pueden cambiar la velocidad de lixiviación en los vidrios dado que los radicales libres inducidos por radiación en el agua tienen reactividades muy altas que podrían afectar la superficie de los productos vítreos.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. PREPARACION DE LAS MUESTRAS

2.1.1. COMPOSICION Y CARACTERIZACION DE LA MATRIZ VITREA

Para este estudio se empleó la matriz vítrea VG98/12, desarrollada en el KfK (Karlsruhe-RFA) para incorporar el residuo simulado de alta actividad (HLW) cuya composición fue calculada a partir del programa Origen I.

La Tabla 2 presenta la composición de la matriz vítrea VG98/12.

2.1.2. La Tabla 3 presenta la composición del producto vítreo.

2.1.3. PREPARACION DEL PRODUCTO VITREO

En esta primera etapa la preparación fue realizada a partir de la mezcla de los constituyentes en forma de óxidos y carbonatos de la matriz vítrea y del residuo simulado.

Se hicieron 2 fusiones a 1200°C durante 7 horas. La colada final se hizo en un molde de grafito precalentado a 600°C y mantenido a esta temperatura aproximadamente 3 horas. Finalmente se dejó enfriar en forma programada hasta llegar a la temperatura ambiente.

El producto vítreo contiene el 10 % del residuo simulado. La preparación de la matriz vítrea VG98/12 se llevó a cabo con la misma técnica pero sin la incorporación del residuo simulado.

2.1.4. OBTENCION DE LAS PROBETAS DE ENSAYO

Las probetas de producto vítreos (PV) y vidrio base (VB) de 400 mm^2 de área superficial se obtuvieron por corte con disco de diamante.

La mayor parte de las muestras fueron pulidas con papel 600.

En la Tabla 4 se presentan las propiedades fisicoquímicas medidas en la matriz vítrea y en el producto vítreo.

Se sometieron las muestras a un tratamiento térmico de 3 días a 600°C , no observándose desvitrificación.

El análisis químico para determinar la composición de los mismos no reveló diferencias significativas con los valores calculados.

2.1.5. IRRADIACION DE LAS PROBETAS

Una serie de muestras fueron lixiviados bajo irradiación en la Planta de Irradiación del C.A.E. recibiendo velocidades de dosis de 3.3 Mrad/hora .

Otra serie fue irradiada con la misma velocidad de dosis durante 14 días y luego lixiviada.

2.2. ENSAYOS DE LIXIVIACION

2.2.1. ENSAYO ESTATICO SEGUN NORMAS MCC-1

Este ensayo tiene como objetivo primordial la intercomparación de materiales aptos para incorporar residuos radiactivos, como así también estudiar los mecanismos de lixiviación,

Las muestras irradiadas y las no irradiadas fueron lixiviadas en contenedores de teflon, con tapa a rosca, apoyadas en un disco perforado también de teflon. La relación aerea superficial a volumen del lixivian-
te (SA/V) fue de 10 m^{-1} .

El lixiviente empleado fue agua desionizada.

Las muestras en sus contenedores fueron colocadas en estufas durante períodos de 7, 14 y 28 días a temperaturas de 50° y 90°C .

2.2.1.1. ANALISIS DE LOS LIXIVIADOS

Se empleó espectrometría de llama para las determinaciones de sodio, cesio y estroncio y espectrofotometría para silicio y boro. Los resultados se informaron en mg/l (ppm).

En base a los datos obtenidos se calculó la "Pérdida de masa elemental

normalizada" (NL)_i en g.m⁻² según la siguiente expresión:

$$NL_i = \frac{(C_i) (V)}{(F_i) (SA)}$$

donde C_i: es la concentración del elemento i en el lixiviado.

V : es el volumen del lixiviado remanente al final del ensayo.

F_i: fracción de masa del elemento en el material ensayado.

SA: Area perficial de la muestra.

2.2.2. ENSAYO DINAMICO

Se empleó para este ensayo el extractor Soxhlet según normas internacionales. Permite evaluar rapidamente la lixiviabilidad de un producto radiactivo.

Como probeta de ensayo se utilizó un cubo de 1 cm de lado suspendido en el extractor utilizando como lixiviante agua desionizada y un período de lixiviación de 14 días.

La diferencia con el método estático, es que la muestra está en contacto con agua continuamente redestilada a 100°C.

2.3. ANALISIS DE LA MUESTRA SOLIDA

Las técnicas de análisis de superficie y microanálisis representan actualmente una valiosa herramienta en los ensayos de lixiviación ya que permiten un estudio de los perfiles de las muestras desde sus superficies lixiviadas hacia el interior no perturbado.

Para la caracterización de las muestras sólidas ensayadas se emplearon microscopía de barrido electrónico (SEM) junto con microanálisis dispersivo en energía (EDAX). Se hicieron exámenes de morfología de superficies y de cortes transversales.

Se complementó con la observación de las capas más superficiales con espectroscopía electrónica para análisis químicos(ESCA).

3. DISCUSION DE LOS RESULTADOS

En la Tabla 5 se presentan los datos de "Pérdida de masa normalizada" (NL)_i en g.m².

De los datos estimados a 50°C, para las muestras lixiviadas a 14 días y para las muestras lixiviadas bajo irradiación (a menor temperatura) 14 y 28 días, se puede observar en forma general, que el vidrio ha lixiviado a una velocidad suficientemente lenta, alcanzando valores de pH que no llegan a 8. En cambio, en las experiencias realizadas a 90°C, el pH es mayor que 9.

Aunque el mecanismo de lixiviación no se conoce bien, el sistema regulador que controla el pH a elevada temperatura sería el sistema ácido bórico/ácido silícico/hidróxido de sodio y eventualmente ácido carbónico,

basado en las concentraciones de boro, sodio y silicio en los lixiviados. Las constantes de equilibrio publicadas para H_4SiO_4 , $\text{B}(\text{OH})_3$ y H_2CO_3 permiten calcular un pH de 9,8, lo cual está de acuerdo con el pH observado. Es razonable suponer que este mismo sistema impere a 40° o 50°C, pero el período de tiempo necesario para alcanzar el equilibrio superaría el año de ensayo.

Los elementos en un producto vítreo pueden comportarse bastante diferentes, dependiendo de sus propiedades químicas individuales, de sus interacciones unos con otros, así como de la formación de una capa superficial.

Respecto a la influencia de la radiación se puede observar que las muestras lixiviadas bajo irradiación no fueron afectadas en grado significativo por los productos de radiólisis del agua pero deberá realizarse un programa de ensayo bajo diferentes condiciones para llegar a una conclusión valiedera.

Las muestras irradiadas y luego lixiviadas sólo presentan ligeras diferencias respecto a las no irradiadas, lo cual indicaría que la irradiación de la muestra ejerce poca influencia sobre la lixiviación..

Se ha calculado estimativamente, en base a los datos de Pérdida de masa normalizada con respecto a sodio, la profundidad o superficie atacada en μm , obteniéndose los resultados que figuran en la Tabla 6, los cuales fueron comparados con los obtenidos por análisis de la muestra sólida por microscopía de barrido electrónico.

TABLA 1

CARACTERIZACION DEL PRODUCTO VITREO

1. Propiedades físico-químicas
 - . Análisis químico del residuo y de la matriz vítrea.
 - . Densidad.
 - . Viscosidad.
 - . Coeficiente de expansión térmica.
 - . Conductividad térmica.
 - . Conductividad eléctrica.
2. Durabilidad química
 - . Lixiviación (sistema estático).
 - . Lixiviación (sistema dinámico).
3. Estabilidad a la radiación
 - . Formación de gases radiolíticos.
 - . Solubilidad del He y permeabilidad.
 - . Daño por radiación.
4. Estabilidad térmica
 - . Volatilidad.
 - . Caracterización de fase.
 - . Desvitrificación.
5. Resistencia mecánica
 - . Shock mecánico.
 - . Shock térmico.
 - . Stresses inducidos (grado de annealing).
6. Corrosión
 - . Interacción residuo/contenedor.

Esta capa tiene dos consecuencias importantes: 1) debida a su formación, los elementos liberados tienden a difundir a través de ella antes de difundir al medio y 2) la capa es bastante rica en sílice, de modo que el silicio, el cual es liberado por la degradación del vidrio, parte va a la solución y parte queda en la capa.

En la Figura N°1 se observa en una sección transversal la formación de la capa y además como ejemplo dos mapas de distribución de Ti y Na. El titanio es retenido en la capa como hidróxido o silicato, pasando a solución en el momento que la misma se desprende. El sodio en cambio, es removido pasando directamente a la solución quedando la capa totalmente depletada de sodio.

Los elementos analizados Na, B, Si, Cs y Sr cubren el espectro de formadores y modificaciones de la red vítrea. Del análisis de los en las muestras irradiadas y no irradiadas se pueden observar que el Na y B lixivian más del producto vítreo que del vidrio base y además existiría una lixiviación preferencial en el producto vítreo para estos elementos.

Un parámetro típico del vidrio sería el rendimiento de liberación de Si, es decir la relación entre el sílice o silicio lixiviado respecto al sílice presente en el vidrio. La complejidad de medir esta relación se debe a la for-

mación de la capa superficial sobre las muestras lixiviadas.

Uno de los métodos de medición es la "Pérdida de masa normalizada" del Si respecto a la "Pérdida de masa normalizada" del B, pues la literatura considera que el B, siendo un formador de red y además no formando productos de alteración durante el período de la experiencia y no concentrándose en la capa superficial de gel de sílice, puede emplearse como el mejor indicador del comportamiento a la corrosión. El valor obtenido de esa relación indicará si la concentración del elemento está regulada por la corrosión del vidrio o si un producto de alteración o sorción sobre el sólido, está regulando la concentración en las solución.

TABLA 2

<u>COMPOSICION (% EN PESO)</u>			
Si O ₂	56.70	Ca O	4.10
B ₂ O ₃	12.40	Mg O	2.10
Al ₂ O ₃	2.60	Na ₂ O	17.50
Ti O ₂	4.60		

TABLA 3

<u>COMPOSICION DEL PRODUCTO VITREO</u>					
OXIDOS	%	OXIDOS	%	OXIDOS	%
SiO ₂	51.030	Eu ₂ O ₃	0.026	Sm ₂ O ₃	0.269
TiO ₂	4.140	Gd ₂ O ₃	0.017	SrO	0.228
Al ₂ O ₃	2.340	La ₂ O ₃	0.359	TeO ₂	0.169
B ₂ O ₃	11.160	MnO ₂	0.186	ZrO ₂	1.225
MgO	1.890	MoO ₃	1.245	NiO	0.067
CaO	3.690	Nd ₂ O ₃	1.161	UO ₂	0.772
Na ₂ O	15.750	PdO	0.323	RuO ₂	0.641
BaO	0.411	Pr ₂ O ₃	0.339	P ₂ O ₅	0.600
CeO ₂	0.739	Fe ₂ O ₃	0.155	Cs ₂ O	0.594
Rb ₂ O	0.092	Y ₂ O ₃	0.146	Rh ₂ O ₃	0.169
Cr ₂ O ₃	0.067				

TABLA 4

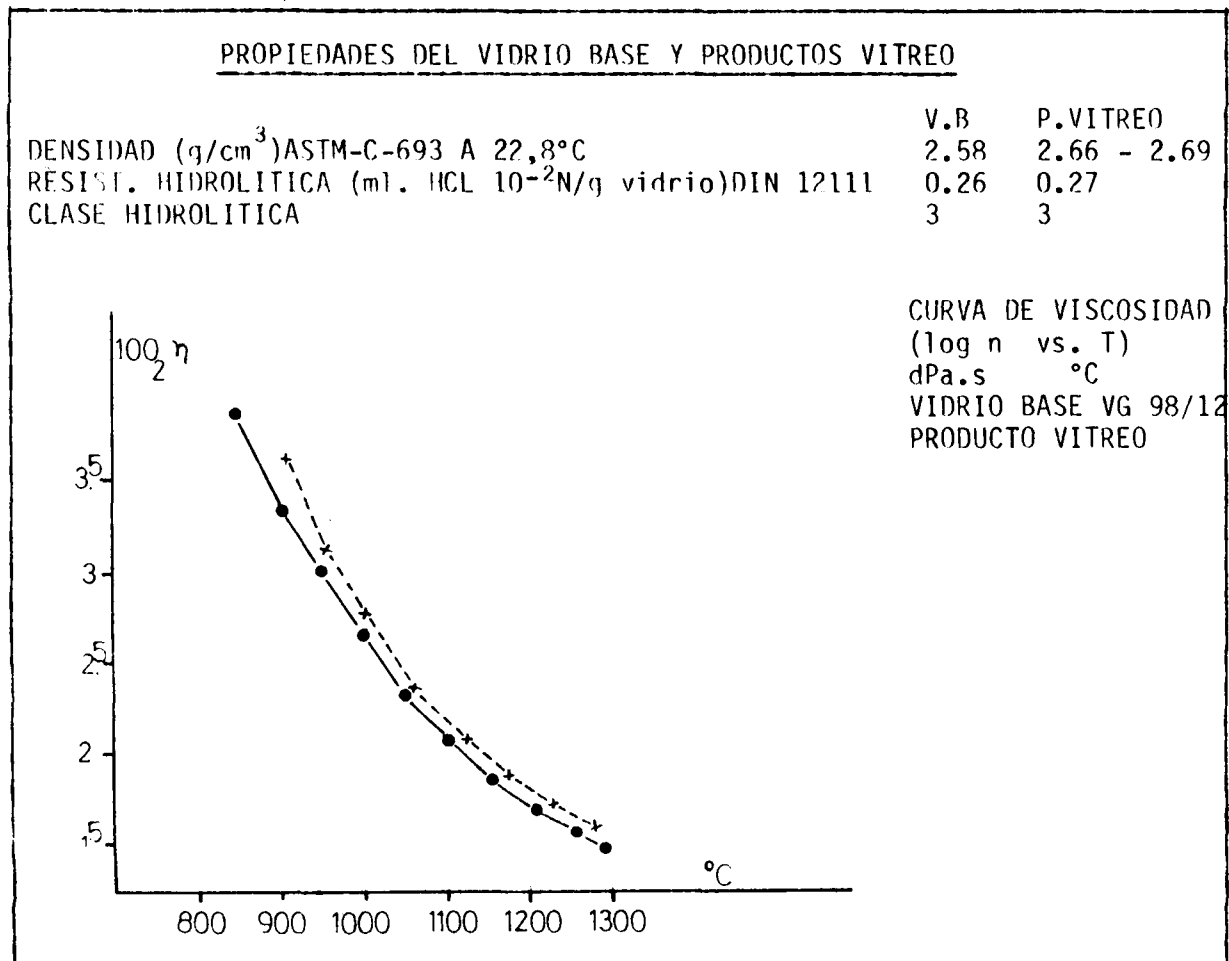


TABLA 5

PERDIDAS DE MASA NORMALIZADA g.m^{-2} (PROMEDIOS)									
MUESTRAS NO IRRADIADAS	PERIODO DIAS	Na	Si	B	Cs	Sr	pH _i	pH _f	TEMP. °C
VIDRIO BASE PRODUCTO VITREO	14	1.9	4.0	8.0	0	0	7.0	7.7	50
	14	4.3	2.9	14.4	ND	ND	7.0	7.8	50
VIDRIO BASE PRODUCTO VITREO	7	17.6	NA	NA	0	0	7.0	8.1	90
	7	23.1	NA	NA	7.0	ND	7.0	8.2	90
VIDRIO BASE PRODUCTO VITREO	28	33.2	40	30.5	0	0	7.0	9.2	90
	28	49.4	37	60	20.7	ND	7.0	9.5	90
MUESTRAS LIXIVI- ADAS BAJO IRRADIACION									
VIDRIOS BASE PRODUCTO VITREO	14	3.0	1.6	8.6	0	0	6.3	7.2	50
	14	2.8	3.5	4.6	ND	ND	6.3	7.2	50
VIDRIO BASE PRODUCTO VITREO	28	7.9	3.2	11.0	0	0	6.3	6.2	50
	28	11.3	9.1	17.0	8.2	ND	6.3	7.6	50
MUESTRA IRRADIADA Y LUEGO LIXIVIADAS									
VIDRIO BASE PRODUCTO VITREO	28	42.1	NA	NA	0	0	5.7	9.0	90
	28	56.1	NA	NA	21.9	ND	5.7	9.0	90

TABLA 6

PROFUNDIDAD DE LA CAPA LIXIVIADA			
		POR ANALISIS QUIMICO	POR MEDICION DIRECTA
		um	um
MUESTRAS LIXIVIADAS 14 d a 50°C	VB	0.8	1
	PV	1.7	2-4
MUESTRAS LIXIVIADAS 28 d a 90°C	VB	13	8-12
	PV	18	15
MUESTRAS LIXIVIADAS BAJO IRRADIACION 28 d a 50°C	VB	3	1-5
	PV	4	2-7
MUESTRAS IRRADIADAS Y LUEGO LIXIVIADAS 28 d a 90°C	VB	9	2-15
	PV	21	22

En las figuras N°2 a 5 se pueden observar los estudios de microestructura y de secciones transversales de muestras vítreas lixivadas en agua desionizadas, empleando microscopía de barrido electrónico (SEMDOX). Las fotos presentadas en este trabajo son sólo una parte de un conjunto mayor, que por razones de espacio fue necesario reducir. En la Figura N° 2, se evidencia un ataque severo sobre la superficie de muestra vítrea lixivadas 28 días a 90°C, con depósito de productos de alteración, especialmente sobre el producto vítreo.

La Figura N°3, presenta en muestras irradiadas y luego lixivadas 28 días a 90°C, una superficie visiblemente afectada con depósito de productos de alteración. La sección transversal ilustra un espesor de capa mayor que 20 m. En cambio las muestras lixivadas 28 días bajo irradiación a menor temperatura (Figura N°4) muestran un ataque a la superficie menor, no detectándose producto de alteración.

En la Figura N°5 se observa la morfología de superficie de un producto vítreo sin lixiviar y lixiviado 14 días a 90°C, empleando un ensayo dinámico (extractor soxhlet). El efecto sobre la superficie evidentemente se ha acelerado.

Finalmente en la Figura N°6 se representa las concentraciones relativas de algunos elementos (U, Ti, Zr, Ca, Si) sobre la capa superficial lixivada, calculadas a partir de los espectros obtenidos con mediciones de microsonda electrónica. Las concentraciones en la capa son relativas a aquellas en el vidrio, observándose un aumento en concentraciones de U. Las concentraciones de Ti, Zr y Ca registran picos de aumento y disminución, en cambio el Si presenta una depleción de aproximadamente el 50 % y el Na está totalmente depletado

4. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se puede inferir que la puesta a punto de los ensayos de lixiviación permite obtener una correcta evaluación de las matrices vítreas en estudio, en cuanto a la durabilidad química en contacto con agua y soluciones acuosas, así como los efectos de la radiación y de la radiólisis del agua.

REFERENCIAS

- (1) Kahl, L. et al. "Preparation and characterization of an improved borosilicate glass for the solidification of high level radioactive fission product solutions (HLW). Pt.2. Characterization of the borosilicate glass product GP 98/12". KFK-3251e. Kernforschungszentrum Karlsruhe G.m.b.H., Karlsruhe (1982).
- (2) Mendel, J.E. et al. "Annual report on the characteristics of high-level waste glasses". BNWL-2252. Battelle Pacific Northwest Labs., Richland, Washington (1977).
- (3) Mendel, J.E. "Nuclear waste materials handbook. Waste form test methods". DOE/TIC-11400. Pacific Northwest Laboratory, Richland, Washington (1981).
- (4) Strachan, D.M. "Results from long-term use of the MCC-1 static leach test method". Nucl. Chem. Waste Manage.; vol.4, n°2, p. 177-188 (1983).
- (5) Malow, G. et al. "Testing and evaluation of the properties of various potential materials for immobilizing high activity waste. First annual report (1977)". EUR-6213. Commission of the European Communities, Brussels, Belgium (1979).
- (6) Lanza, F. "An experimental and modelling approach of the near field release and transport processes. Working document". Commission of the European Communities, Joint Research Centre, Materials Science Division, Ispra, Italy.
- (7) Pederson, L.R. and Mc Vay, G.L. "Influence of gamma irradiation of leaching of simulated nuclear waste glass: temperature and dose rate dependence in deaerated water". J. Am. Ceram. Soc.; vol. 66, n°12, p. 863-867 (1983).

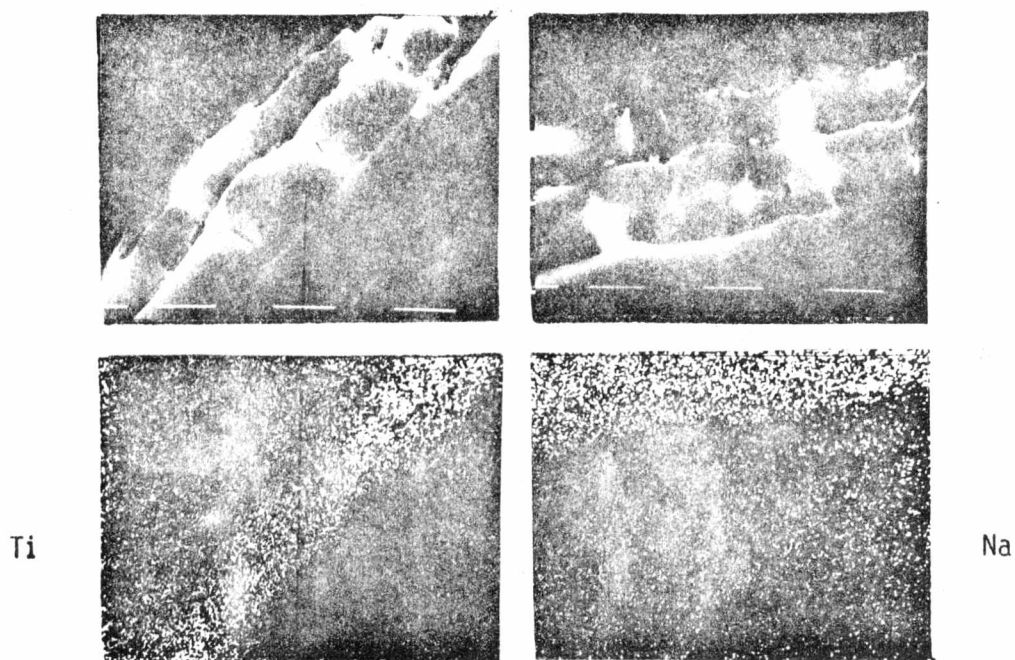


Fig. 1 - Sección transversal y mapas de distribución de Ti y Na de productos vitreos lixiviados obtenidas con SEM-EDAX (1600x)

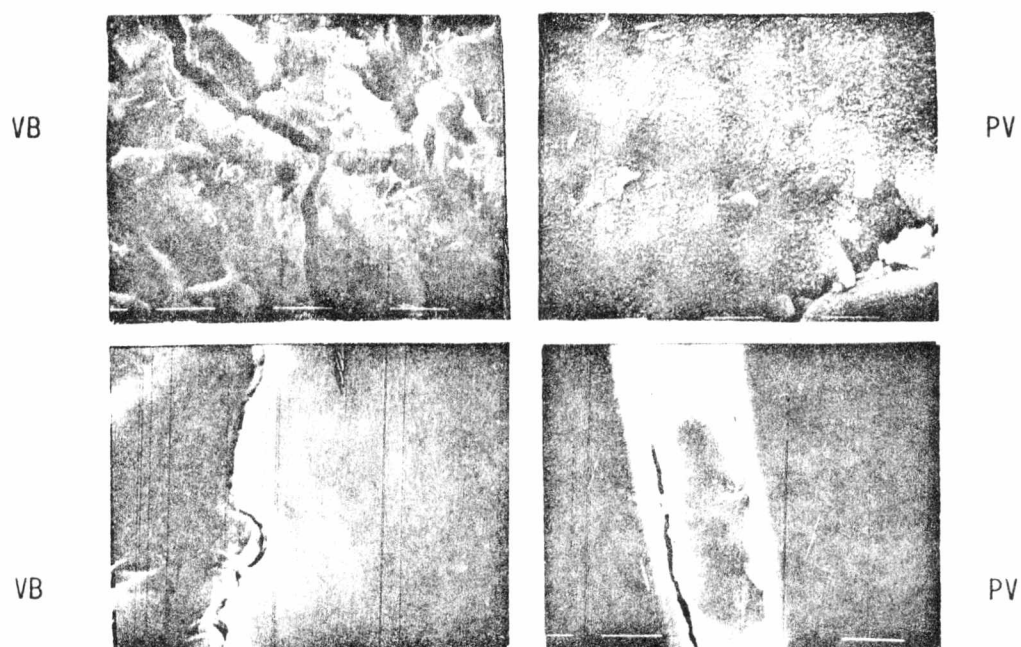


Fig. 2 - Morfología de superficie y secciones transversales de vidrio base y producto vítreo lixiviados 28 d a 90°C analizadas por SEM-EDAX 1600x.

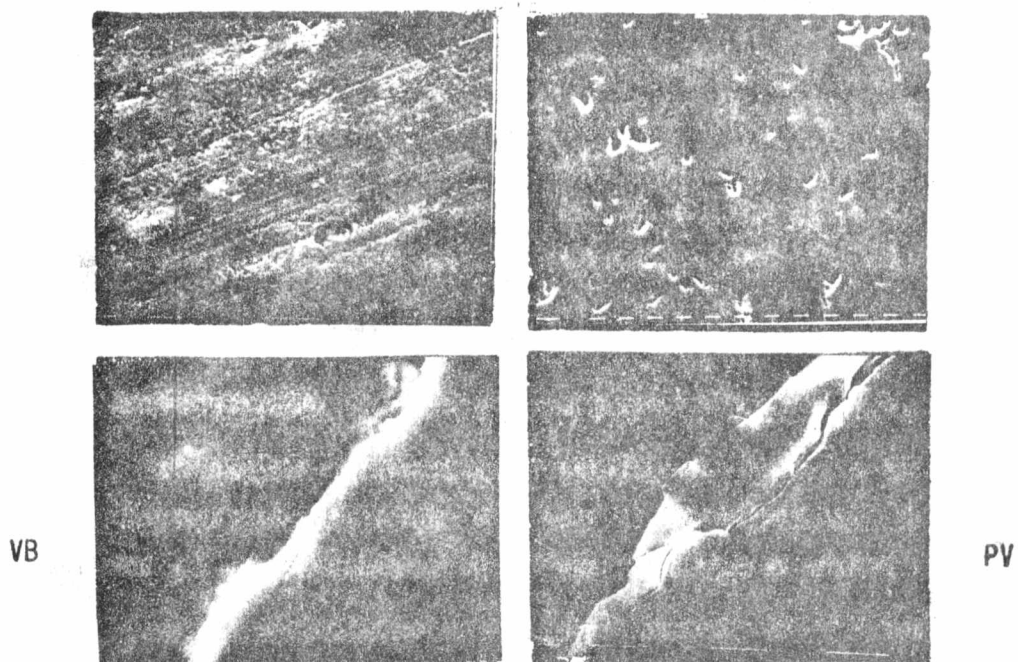


Fig. 3 - Morfología de superficie y secciones transversales de vidrio base y producto vítreo irradiados y luego lixiviados 28 d a 90°C analizadas por SEM-EDAX (1600x).



Fig. 4 - Morfología de superficie y sección transversal de vidrio base y producto vítreo lixiviados bajo irradiación 28 d, analizadas por SEM-EDAX (1600x).

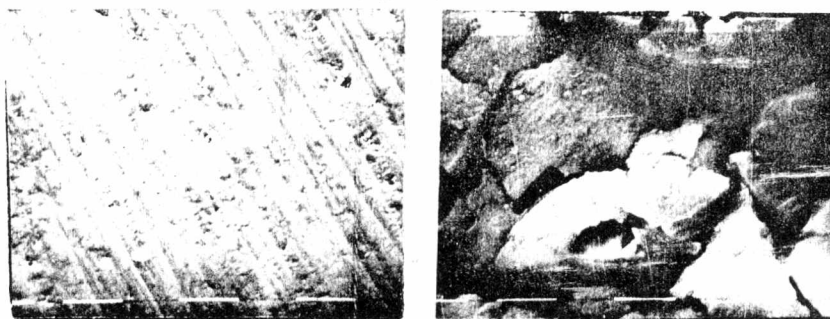


Fig. 5 - Morfología de superficie de un producto vitreo sin lixiviar y con lixiviación dinámica 14 d a 90°C (Soxhlet) analizado por SEM-EDAX (1600 x)

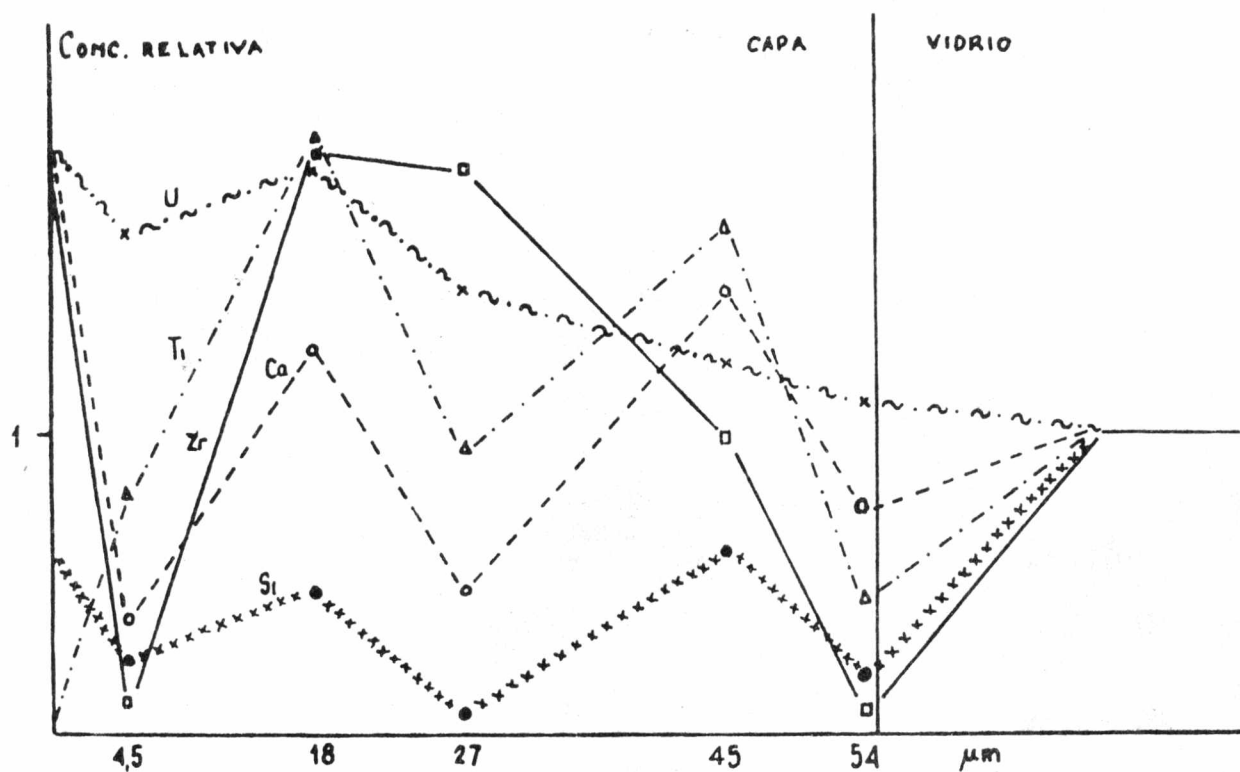


Fig. 6 - Análisis de las concentraciones relativas de elementos en la capa lixiviada (microsonda electrónica).

- REPO-01 Beninson, D.; Migliori de Beninson, A.
"Radiological impact of radioactive waste management"
- REPO-02 Lucero Michaut, H.
"Aplicación de la geoestadística a la resolución de problemas estructurales en macizos rocosos homogéneos"
- REPO-03 Ventura, M.; Ferreri, J.C.
"Evolución temporal de un macizo granítico bajo cargas térmicas generadas por productos de fisión"
- REPO-04 Ventura, M.; Ferreri, J.C.
"Evolución temporal de un macizo granítico bajo cargas térmicas generadas por productos de fisión (estudio paramétrico)"
- REPO-05 Beninson, D.
"Radioactive emissions and radiation exposures resulting from nuclear power production"
- REPO-06 Beninson, D.; Lindell, B.
"Application of ICRP recommendations to radioactive waste isolation"
- REPO-07 Migliori de Beninson, A.; Cancio, D.
"Impacto radiológico de la gestión de residuos radiactivos del Programa Nuclear Argentino"
- REPO-08 Migliori de Beninson, A.; Palacios, E.
"Política en materia de gestión de desechos y su aplicación en Argentina"
- REPO-09 Palacios, E.; et al.
"Bases conceptuales para la construcción de un repositorio en la Argentina".
- REPO-10 Palacios, E.; et al.
"Estudios para la selección del emplazamiento de un repositorio en Argentina"
- REPO-11 Matar, J.A.; Girardi, J.P.; Matar de Sarquís, M.
"Aplicación de técnicas geoestadísticas al estudio de una formación granítica destinada a la construcción de un repositorio"
- REPO-12 Ferreri, J.C.; VENTURA, M.
"Numerical aspects of the study of the regional thermal impact of a radioactive waste repository"
- REPO-13 Ferreri, J.C.; Caballero, C.H.
"Difusión de calor a partir de una fuente plana rectangular finita"
- REPO-14 Beninson, D.; González, A.J.
"Radiological protection criteria for radioactive waste repositories"
- REPO-15 Palacios, E.; Ferreri, J.C.
"Marco conceptual para el desarrollo de los modelos de predicción de los efectos locales de un repositorio de residuos radiactivos de alta actividad"

- REPO-16 Ferreri, J.C.; Ventura, M.
"Aspectos numéricos del modelado de los efectos locales de un repositorio de residuos radiactivos de alta actividad"
- REPO-17 Beninson, D.
"Criterios de radioprotección en el caso de eventos disruptivos probabilísticos"
- REPO-18 Ferreri, J.C.; Grandi, G.
"Models for the study of the local effects produced by a high-level radioactive waste repository"
- REPO-19 Beninson, D.J.; et al.
"The argentine radioactive waste repository: basic criteria, preliminary siting and design conceptual basis"
- REPO-20 De Micheli, S.M. de; et al.
"Uso del plomo en contenedores de residuos radiactivos de alta actividad: estudio de resistencia a la corrosión"
- REPO-21 Peruca, J.C.; et al.
"Investigaciones geológicas e hidrológicas con procesamiento geostatístico en la preselección del emplazamiento de un repositorio subterráneo para los residuos radiactivos de alta actividad del Programa Nuclear Argentino"
- REPO-22 Varani, J.L.; et al.
"Analysis of different vitreous matrices of the borosilicatype"
- REPO-23 Varani, J.L.; Petraitis, E.J.; Vazquez, A.
"Vitrificación de residuos radiactivos líquidos de alta actividad"
- REPO-24 Varani, J.L.; Petraitis, E.J.; Pasquali, R.C.
"Evaluación de matrices vitreas para inclusión de residuos radiactivos"
- REPO-25 Russo, D.; Messi de Bernasconi, N.; Audero, M.
"Fijación de residuos de alta actividad en matriz vítrea sinterizada"
- REPO-26 Wetten, C.; Grassi, J.I.
"Hydrogeological features of a rocky massif to be used as a nuclear repository"
- REPO-27 Girardi, J.P.; Matar de Sarquís, M.
"Selection of a minimum fracturation area by means of geostatistic for emplacement of subsurface civil works of a nuclear repository in crystalline rock"
- REPO-28 Matar, J.A.; et al.
"Geostatistical investigations of rock masses. The Sierra del Medio case (Argentina)"
- REPO-29 Perucca, J.C.; et al.
"Geological and geophysical investigations at Sierra del Medio Massif - Argentina"

- REPO-30 Russo, D.O.; Messi de Bernasconi, N.; Audero, M.A.
"Inmovilización de residuos de alta actividad en vidrios sinterizados: 1) Proceso de prensado en caliente"
- REPO-31 Bevilacqua, A.M.; et al.
"Inmovilización de residuos de alta actividad en vidrios sinterizados: II) Proceso de prensado a temperatura ambiente"
- REPO-32 Ventura, M.
"Predicción de la migración de radionucleídos en un medio rocoso. Parte I"
- REPO-33 Ventura, M.
"Predicción en la migración de radionucleídos en un medio rocoso. Parte II-Caso bidimensional"
- REPO-34 Palacios, E.
"Política argentina para la eliminación de residuos radiactivos"
- REPO-35 Pahisa, M.; et al.
"Primeros ensayos vinculados a la vitrificación de residuos líquidos de alta actividad".

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
Gerencia Protección Radiológica y Seguridad

	Domicilio Postal Postal Address	Télex	Facsimil	Teléfono
Sede Central (Main Headquarters)	Av. Libertador 8250 1429 - Buenos Aires Argentina	21388 PREAT AR	701 - 2431 (int. 248) (ext. 248)	701 - 2431
Centro Atómico Ezeiza Ezeiza Atomic Center	Casilla de Correo 40 1802 - Aeropuerto Ezeiza Argentina	23462 CAE PRS AR	620 - 0480	620 - 0160