



MX0500333

*XVI Congreso Anual de la SNM y XXIII Reunión Anual de la SMSR  
XVI SNM Annual Meeting and XXIII SMSR Annual Meeting  
Oaxaca, Oaxaca, México, Julio 10-13, 2005 / Oaxaca, Oaxaca, México, July 10-13, 2005*

## **Prototipo de Degradación Térmica para Desechos Radiactivos de Nivel Bajo e Intermedio**

*Laura Verónica Díaz Archundia<sup>1,2</sup>, Joel Osvaldo Pacheco Sotelo<sup>1</sup>, Marquidia Pacheco Pacheco<sup>1</sup>  
lauradiazarch@yahoo.com.mx ; jps@nuclear.inin.mx ; marquidia@nuclear.inin.mx;*

*Fabiola Monroy Guzmán<sup>1</sup>, Miguel Emeterio Hernández<sup>1</sup>  
fmg@nuclear.inin.mx ; meh@nuclear.inin.mx*

*<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares  
Km 36.5, Carretera México-Toluca, Mpio. de Ocoyoacac, Edo. de México.*

*<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Querétaro, CEACA  
Ave, Hidalgo S/N, Cerro de las Campanas, Qro., Querétaro.*

### **Resumen**

En la actualidad, las actividades científicas, académicas, industriales y tecnológicas, generan gran cantidad de desechos radiactivos de nivel bajo e intermedio (DRNBI). Para asegurar una adecuada disposición final de éstos, se propone su tratamiento y vitrificación mediante plasma térmico. Esta alternativa ofrece múltiples ventajas en un único proceso: elevada densidad energética ( $10^5\text{W/cm}^3$ ), alta entalpía (1400 kJ/mol), elevada reactividad química, rápido quenching ( $10^6\text{K/s}$ ) y temperaturas de operación de 4000 a 15000K; esto permite el tratamiento de una gran diversidad de desechos. Los reactores son compactos y trabajan a presión atmosférica e inercia térmica reducidas. Esta tecnología permite degradar DRNBI y contenerlos en una matriz vítrea mediante un sistema compuesto de un reactor, cañón de plasma, de monitoreo, de lavado de gases y de control. Además del diseño y características generales del Prototipo de Degradación Térmica de DRNBI, se reportan en este trabajo los avances logrados en la selección del material cerámico para la vitrificación. Su caracterización fue realizada mediante MEB y DRX. Con los resultados preliminares se puede discernir que el material más apropiado para utilizarse como matriz vítrea es una arcilla cerámica. Con el desarrollo de la tecnología propuesta y el material para la matriz vítrea, se podrán tratar DRNBI.

### **1. INTRODUCCIÓN**

Los desechos radiactivos requieren de un manejo y disposición no convencional (libre de condiciones adversas como acción de agua y fenómenos de corrosión) que deben ser gestionados por personal ampliamente capacitado de acuerdo con normatividad impuesta tanto por organismos internacionales (Organismo Internacional de Energía Atómica, OIEA) como nacionales (Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, CNSNS). En México, el responsable de regular los desechos radiactivos generados por los sectores: educativo, social, científico y tecnológico, es la CNSNS. La tecnología de plasma térmico aplicada a la destrucción de residuos ha evolucionado rápidamente debido a su eficacia en el tratamiento y degradación de una gran variedad de compuestos peligrosos (incluyendo DRNBI). También permite una menor

generación de gases y partículas tóxicas finales.

En cuanto a las referencias que se citan, Inaba T. et al., consideran la aplicación de la antorcha de plasma para el tratamiento de desechos, en dicha referencia, se varían los siguientes parámetros: voltaje y corriente del plasma, así como el flujo de gas, evaluando al mismo tiempo la distribución de temperatura que son los mismos parámetros que hemos considerado controlar en nuestro caso, tomando en cuenta la interdependencia existente entre ellos, ya que por ejemplo el flujo del gas influye en la variación del voltaje, de la temperatura y de la longitud de la antorcha del plasma. Otro autor, Taupiac, aprovecha las ventajas del plasma, como la elevada entalpía, el rápido quenching, temperaturas de operación de 4000 a 15000K, entre otras, para el tratamiento de desecho radiactivos de bajo nivel. Un punto relevante de esta Tesis, es considerar una adecuada mezcla de gases para iniciar el plasma, ya que de ello depende el suministro de energía suficiente para lograr la degradación del desecho en las mejores condiciones.

Park Jong y Song Myung presentan la comparación de cuatro sistemas para vitrificar desechos radiactivos de mediano y bajo nivel: estos son: a) Por inducción directa, b) Horno con crisol frío y electrodos dispuestos verticalmente, c) Proceso de extracción catalítica y c) Horno de antorcha de plasma.

De acuerdo a los resultados obtenidos en las publicaciones mencionadas, consideramos de importante interés dirigir nuestras investigaciones en la definición de los parámetros para el tratamiento de los DRNBI y características del producto final.

En el ININ se cuenta con experiencia en el desarrollo y aplicación de descargas de plasma, para resolver el problema de los desechos peligrosos. Prácticamente todos los países con un programa de desarrollo nuclear, consideran unidades de tratamiento para la disposición final de los DRNBI, en base a diferentes técnicas, incluyendo la de descargas de plasma. La aplicación de esta técnica permite vitrificar un material. El vitrificado consiste en fundir un material (matriz en la que se va a contener el desecho degradado y minimizado, mediante un tratamiento térmico adecuado que origina la formación de una matriz de vidrio [1].

La propuesta de este trabajo está encaminada primeramente a la degradación térmica y minimización de DRNBI que se encuentran almacenados en la Planta de Tratamiento de Desechos Radiactivos (PRATADER) del ININ y en una segunda fase, a tratar los desechos generados en la Central Nuclear Laguna Verde (CNLV).

## **2. GENERACIÓN DE DESECHOS, (DIMENSIONAMIENTO DEL PROBLEMA)**

El ININ recibe anualmente en promedio, 15 m<sup>3</sup> de desechos sólidos y 4.5 m<sup>3</sup> de desechos líquidos provenientes de centros de investigación, instituciones educativas de nivel superior, hospitales del sector público y privado, industrias y desarrollo de tecnología (generación de energía eléctrica CNLV) con diversas composiciones químicas, (materiales inorgánicos y orgánicos, sólidos biológicos) contaminados con: S-35, Ca-45, Ga-67, Mo-99, Sm-53, Tc-99m, Cr-51, P-32, I-125, I-131, Zn-65, Br-82, Rb-86, Cd-104, Cs-134, Co-60, Tl-201, Am-241, H-3 y C-14.

De los 9.5 m<sup>3</sup> de desechos que recibe el ININ, no todo se trata para la reducción de su volumen. Por ejemplo, los líquidos orgánicos son almacenados (sin ningún tipo de tratamiento) en la PRATADER situada en el ININ (figura 1 y 2).



Figura 1. Desechos Líquidos Almacenados.



Figura 2. Desechos Sólidos almacenados

En el caso de los sólidos, reciben un proceso de compactación y después son almacenados en la PRATADER. Como la capacidad de almacenamiento en la PRATADER tiene un límite, es urgente enfocar esfuerzos en solucionar el problema del volumen de los DRNBI. Para esto, se propone la tecnología de plasma térmico para vitrificación de e desechos, desarrollando un prototipo de degradación térmica. La central nucleoelectrónica de Laguna Verde (CNLV), situada en Veracruz, México, genera 1.22 GWe, utilizando dos reactores nucleares, los cuales contribuyen con el 7% de la generación eléctrica en el país. El resto de energía eléctrica es generada mediante plantas consumidoras de petróleo, recurso contaminante y no renovable. La CNLV aprovecha el Uranio como un recurso energético alternativo y diversifica la fuente de energía. La CNLV cuenta con una unidad de almacenamiento de residuos radiactivos, que son generados durante diferentes actividades. Actualmente, los residuos se mezclan con asfalto, se compactan y se almacenan en bidones de 200 lt.

### **3. ALTERNATIVAS PARA TRATAMIENTO DE DESECHOS RADIATIVOS DE NIVEL BAJO E INTERMEDIO (DRNBI).**

El tratamiento o disposición que se le dé a los desechos radiactivos, depende sobre todo de su actividad radiactiva, la concentración y la vida media de los radionúclidos que contengan estos [1, 2, 3].

En una primera instancia esta alternativa será aplicada a desechos radiactivos de nivel bajo e intermedio (DRNBI) para reducir el volumen significativamente y en el caso de materiales fisibles se realizará su vitrificación. Esta técnica no genera residuos secundarios tóxicos y se cumple con las normas establecidas ya que permite obtener una matriz inerte para la disposición final de los mismos [4]. La vitrificación consiste en efectuar un cambio físico y químico en el material haciéndolo inerte, solidificándolo y estabilizándolo térmicamente, presentando una elevada resistencia a esfuerzos mecánicos. También permiten tener la seguridad de que no haya lixiviación del desecho a los mantos freáticos.

Por las características del plasma, es recomendable tratar materiales endotérmicos, ya que el plasma suministra la energía suficiente para llevar a cabo la reacción de degradación; algo difícil

de lograr con otras técnicas que por lo regular presentan deficiencias en la emisión de gases y requieren sistemas de tratamiento muy complejos y costosos. Por ejemplo, en el caso particular de un gas de desperdicio con poder calorífico menor 1.779 kcal/l es necesario agregar un gas con mayor poder calorífico para poder lograr su degradación [5].

Es importante aclarar que el plasma también tiene la posibilidad de tratar materiales de tipo exotérmicos con un aporte mínimo adicional de energía.

Estudios recientes [1-5] han demostrado la capacidad que tiene el plasma de tratar DRNBI. En lo referente al tratamiento de desechos de nivel alto no se han localizado referencias que utilicen descargas de plasma térmico.

Los DRNBI puede tener compuestos orgánicos, inorgánicos y radionúclidos. Los compuestos orgánicos (incluyendo pesticidas y PCBs) [6] serán convertidos en gases no tóxicos como  $H_2$  y  $O_2$ . En cuanto a los desechos inorgánicos y radionúclidos quedan atrapados dentro de la matriz inerte. En el caso de desechos líquidos como solventes (tricloroetano o tricloroetileno) utilizados durante el mantenimiento de sitios contaminados, se pretende aprovechar un plasma híbrido de inducción-arco eléctrico, que permite degradar los hidrocarburos clorinados con perfiles de temperatura bien definidos para controlar la formación de especies que provocan las reacciones completas de degradación. En el caso de residuos sólidos, estos podrán ser tratados por un plasma transferido para lograr la vitrificación de los subproductos.

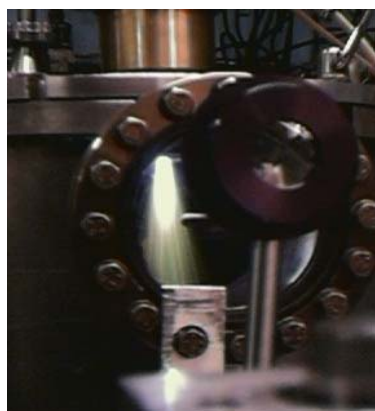
### 3.1. Plasma Térmico

Un plasma está constituido por una mezcla de electrones, iones y especies neutras que componen un medio parcial o totalmente ionizado. El plasma térmico se caracteriza por tener una densidad energética alta y porque la temperatura de las partículas pesadas (iones)  $T_g$  y la temperatura de los electrones  $T_e$  son prácticamente iguales. Además, tiene una densidad electrónica alta ( $10^{13}$  a  $10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ) y bajas energías de los electrones, las cuales están en el orden de 1 a 2 eV. La densidad de energía del plasma ( $10^5 \text{ W/cm}^2$ ) es muy superior a la flama por combustión. La temperatura alcanzada en el corazón del plasma es de 20,000°C.

El plasma térmico es uno de los pocos procesos que superan la barrera de los 3,000 °C, por lo que la capacidad de transferencia de energía se multiplica enormemente en función del gas plasmágeno utilizado, además, es una fuente rica en radiación, con un espectro muy amplio (incluye radiación ultravioleta e infrarroja). Al analizar el calor generado por radiación, se observa que es función de la temperatura a la cuarta potencia, lo que significa que arriba de 1,700 °C (justo la temperatura máxima de la flama), el calor generado por radiación comienza a ser significativo y la transferencia de calor es mucho más rápida que por los medios convencionales. La alta densidad de energía y su reducida inercia térmica se utiliza para el “rompimiento” de los enlaces de las moléculas de los compuestos que forman los residuos peligrosos, dando como resultado una mezcla de partículas constitutivas que al enfriarse originan gases considerados como permanentes y sólidos estériles de las partículas metálicas presentes. Por lo que, el proceso propuesto es una tecnología limpia y que cumple con las normas de protección ambiental, tanto nacionales como internacionales.

### 3.2 Equipo disponible e infraestructura necesaria

Los estudios relacionados con la generación y aplicación de descargas de plasma por Arco eléctrico se iniciaron en el ININ desde 1988. Los trabajos se orientaron fundamentalmente a la investigación en el uso del plasma térmico en el tratamiento de residuos peligrosos (RP); terminándose en 1995 un proyecto para diseñar una planta de degradación de residuos biológico infecciosos. En 1995 y 1996, en el marco del programa CONACyT-CNRS, Francia, se trabajó en el diagnóstico de plasma y modelación del cañón de plasma térmico. Se diseñó y desarrolló un cañón especial en un reactor de plasma térmico, objeto del registro de una patente. El equipo utilizado para tratamiento de residuos peligrosos se muestra en la figura 3 incisos *a* y *b*, reactor con cañón de plasma no transferido y equipo para vitrificación de materiales por inducción electromagnética respectivamente. Con esta infraestructura, se obtuvo por primera vez en el país la degradación de RP, con altas eficiencias de destrucción generándose además varias publicaciones y tesis. Los resultados obtenidos, permitieron en 1998 establecer un convenio conjunto con PEMEX REFINACION para la degradación de lodos aceitosos.



a. Plasma Térmico No Transferido



b. Vitrificación por Inducción electromagnética

**Figura 3. *a* y *b*. Equipo disponible para tratamiento de desechos.**

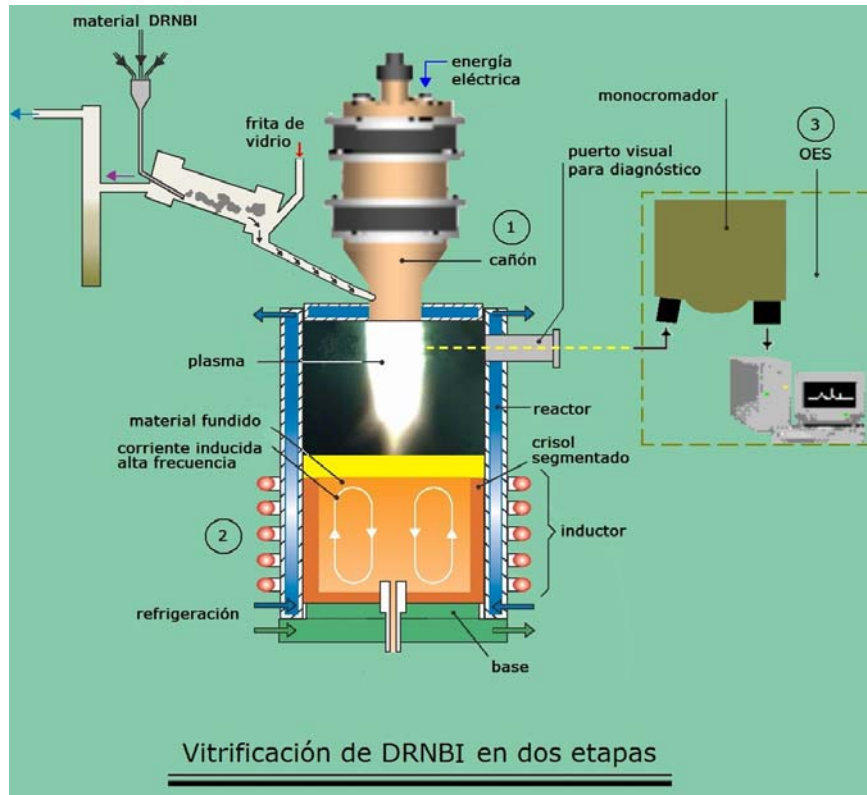
Los residuos conteniendo hidrocarburos fueron destruidos con gran eficacia, se cuenta con la certificación de una consultoría externa. Durante los años 2000 a 2003 se contó con el apoyo de CONACYT (Proyecto 33424U) y se logró implementar una infraestructura que servirá de base para complementar el sistema de tratamiento indicado. Los resultados de este proyecto se encuentran documentados en los informes técnicos parciales de CONACYT y en diferentes publicaciones [7-12]. La infraestructura propuesta para el tratamiento de DRNBI es la siguiente:

A. Planta de tratamiento (Figura 4), esta compuesta por:

1. Cañón: Este sistema incluye la alimentación de energía eléctrica y alimentación de gases (Argón, Helio, Hidrógeno, Nitrógeno, Aire comprimido o mezcla de alguno de ellos). Al entrar en contacto la energía eléctrica y el gas o mezcla de gases se iniciará el plasma, una vez formado éste, se procede a introducir los DRNBI junto con la frita de vidrio a través de un dosificador de DRNBI.
2. Reactor: Se divide en dos secciones, una en donde se forma la antorcha de plasma y otra en donde se encuentra el sistema de inducción electromagnética, donde se provoca una

corriente inducida de alta frecuencia dentro de un crisol segmentado con el propósito de homogeneizar la fundición y controlar la temperatura con perfiles programados de vitrificación. El reactor cuenta con un puerto visual para diagnóstico del plasma.

3. Espectroscopia óptica (OES): El diagnóstico del plasma se realiza con ayuda de un monocromador por medio de una fibra óptica dirigida al plasma.



**Figura 4. Sistema para degradación de DRNBI**

B. Sistema de lavado de gases. Considerando que puede existir emisión de gases que contengan elementos peligrosos, se contempla un sistema de lavado de gases de partículas que puedan reaccionar con otros elementos generando gases tóxicos. El sistema se compone de:

1. Intercambiador de calor.
2. Separador ciclónico de partículas
3. Columna de lavado de gases

C. Sistema de control y monitoreo del proceso: Cumple con la función de establecer un registro en tiempo real de los parámetros de interés, este sistema consta de:

1. Fuente ininterrumpible.
2. Computadora.
3. Detector y medidor de contaminación.
4. Detector multi-gas.
5. Detector de radiación y medidor de rapidez de exposición.
6. Muestreador de aire.

El sistema en su totalidad aquí propuesto deberá destinarse exclusivamente para el tratamiento de desechos radiactivos de nivel bajo e intermedio.

Respecto al material para formar la matriz vítrea (material a base de Silicio), se han realizado análisis semicuantitativos de diferentes materiales con el objeto de seleccionar en base a la composición elemental y fases cristalinas, el material más adecuado para formar la matriz en la que se van a contener los desechos radiactivos ya degradados y vitrificados.

### 3.3. Selección de la matriz vítrea

Con el fin de avanzar en el aspecto de vitrificación, se han hecho análisis previos para encontrar los materiales más viables para utilizarlos como agregado en el proceso de plasma y obtener la matriz vítrea, en ese sentido, se han seleccionado diversos materiales apoyados en recomendaciones de industriales ceramistas, a base de silicio que tengan como características principales:

- Composición del material lo más pura posible, es decir, la ausencia o en caso extremo, la menor cantidad de elementos que puedan formar compuestos tóxicos al ser vitrificado.
- Lo más accesible posible para adquirirlo y se vitrificado.
- Que sea un material que al vitrificarlos, sea resistente a condiciones ambientales adversas como erosión por agua y corrosión.

Los materiales seleccionados para el estudio analítico fueron:

- a. Muestra I<sub>p</sub>: material residual al incinerar desechos. Se pretende co-procesar el material, es decir, la intención es de evaluar su utilización como agregado para lograr la matriz vítrea.
- b. Fritas: perlas para fundir y moldear vidrio.
- c. Pirex: desechos de vidrio pirex. Reutilizar el desecho de vidrio como materia en proceso de tratamiento térmico y que funja como matriz vítrea.
- d. Arcilla: materia prima para formar cerámicos muy resistente y esta compuesta principalmente por silicio, composición especial proporcionada para este fin.

Estos materiales se analizaron en Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) en el equipo Scanning Electrón Microscope JEOL JSM-5900LV con un vacío de 20 Pa, magnificación de 500X, 20 kV, Modo HV, Señal MER.

Para cada material se obtuvo la composición elemental semicuantitativa mediante microscopia, para analizar la fase cristalina se utilizó la Difracción de Rayos X (DRX). Para el análisis por DRX los materiales se metieron previamente a una mufla a 40°C durante 24 horas con el objeto de eliminar la humedad, una vez secos, se analizaron en el equipo X-RAY DIFRACTOMETER D-500 marca Siemens con las siguiente condiciones de operación: tiempo 37 min, 35 kV, 25 mA. Los resultados preliminares se presentan a continuación.

#### 3.3.1 Resultados preliminares:

Para el desarrollo del prototipo es necesario efectuar un estudio profundo del material con el que se formará la matriz idónea que contendrá los desechos radiactivos tratados.

En esta sección se mostrarán los resultados obtenidos para selección de la matriz vítrea.

### 3.3.1.1. Análisis por Microscopio Electrónico de Barrido

Con la ayuda de esta técnica fue posible distinguir la composición elemental semicuantitativa de los materiales seleccionados. En la Tabla I se muestran los resultados del análisis.

Observando la composición elemental, la Muestra I<sub>p</sub> y Fritas no se consideran ya que tienen en su composición Mn, S y Pb, elementos peligrosos. Se puede suponer que el Pirex es el más adecuado para utilizarlo como matriz vítrea, sin embargo es un material caro para tal propósito. La arcilla analizada es un material cerámico compuesto por C, O, Na, Al, Si, K y Ca, elementos que no son peligrosos y que por sus propiedades, pueden reaccionar formando un material vítreo capaz de soportar condiciones adversas del ambiente como: erosión provocada por agua y esfuerzos mecánicos, por lo que será hasta el momento, el material más apropiado para formar la matriz vítrea, por esta razón sólo se presentan los resultados de este material en DRX.

**Tabla I. Composición semicuatitativa del material para la matriz vítrea**

Elemento	Matriz Vítrea			
	Muestra I <sub>p</sub> %	Pirex %	Fritas %	Arcilla %
C	55.44211	16.00789	20.24449	3.314138
O	22.57268	51.29006	34.94114	46.33381
Na		2.628947	2.713321	3.728803
Al	0.179597	1.064191	0.263224	9.734072
Si	0.498071	29.00891	21.39089	31.13807
K			5.424055	5.419007
Ca			0.525166	0.33199
Ti			0.108808	
Fe	18.53006			
Pb			14.3889	
Mn	0.132793			
S	2.644688			

### 3.3.1.2. Difracción de Rayos X

Los resultados de Difracción se muestran en la Figura 7.

El difractograma muestra las fases cristalinas de materiales como: cuarzo (SiO<sub>2</sub>), caolinita (Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>) y anortoclasa ((Si<sub>3</sub>Al)O<sub>8</sub>) lo cual muestra que se trata de una arcilla a base de feldespato potásico. Las fases cristalinas de la caolinita y anortoclasa son de baja intensidad en relación al cuarzo por lo tanto su proporción es pequeña. Por el contrario, las fases cristalinas del cuarzo tiene mayor intensidad, esto quiere decir que la mayor parte del material esta formada por cuarzo.



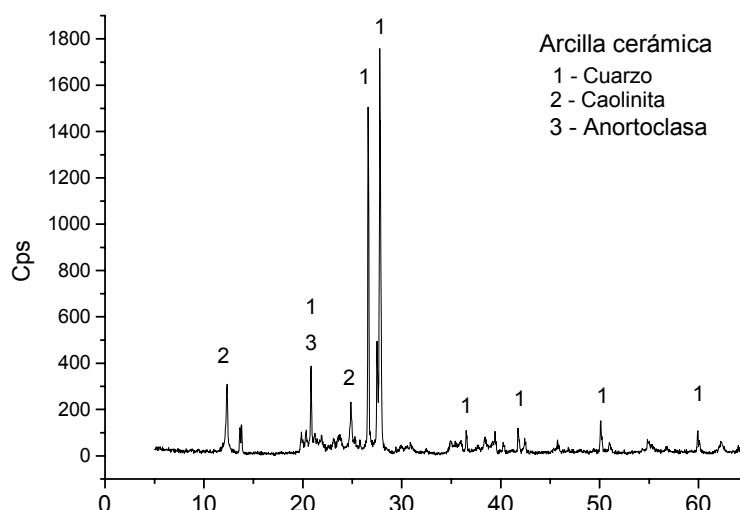


Figura 7. Diffractograma de Arcilla cerámica.

En virtud de las características mostradas por la arcilla cerámica y su precio accesible, se ha elegido como material para formar la matriz vítrea, el cual nos permitirá continuar haciendo estudios con materiales de características similares.

#### 4. CONCLUSIONES

Se ha descrito un sistema de vitrificación mediante descarga de plasma térmico, para lograr la disposición final de DRNBI, en términos que satisfaga a la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias. El agrupamiento de toda la infraestructura previamente descrita en una unidad específicamente dedicada a dicho propósito e instalada en un lugar que cumpla con los requisitos de licenciamiento, permitiría el tratamiento de DRNBI.

Además del diseño, se describen algunos resultados experimentales sobre el material adecuado para poder formar la matriz vítrea en la que se contendrá el DRNBI. Estos resultados preliminares, han confirmado la necesidad de aplicar un proceso de vitrificación sin inercia térmica, pues correría el riesgo de gasificar el DRNBI sin antes haber logrado la vitrificación del resto del material ya que presentan puntos de fundición y ebullición sumamente variados. El plasma térmico cumple con tales características ya que es un proceso sin inercia térmica con unidades compactas sin necesidad de agregar oxígeno. Esta tecnología además de tratar los DRNBI, permite contenerlos en una matriz vítrea para su disposición final con una reducción de volumen considerable.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Hilda Moreno Saavedra, Miguel Ángel Durán, Aurelio Cruz Azocar, José Fidel Ramos Flores, Carlos Eduardo Torres Reyes, Jorge Pérez del Prado, Isidoro Martínez Mera, por el apoyo, comentario y sugerencia para el desarrollo de este trabajo; también, alas Instituciones que han financiado proyectos de investigación en el LAP y con lo cuales se ha podido consolidar esta área de investigación.

## REFERENCIAS

1. Kil J. P., Jae M. S., Feasibility study on vitrification of low-and intermediate- level radioactive waste from pressurized water reactors, *Waste Management*, **18** 158-161 (1998).
2. I. Tsuginori, W. Yoshimoto, N. Masayoshi, I. Takayuki, E. Masao; “Ar torch plasma Characteristics and its application to waste treatment”; *Thin Solid Films*, **316** pp111-116 (1998).
3. Moncouyoux J-P., Nabot J-P., La Vitrification des déchets ajoute des cordes à son arc, *Clefs CEA-N°46*, CEA/Valrhó-Marcoule, France 2002.
4. Taupiac P. Jean, Incineration de dechets nuclearies en plasma d’arc, *these de doctorat de l’Université Paul Sabatier*, Centre de Physique Atomique, Laboratorio de chimie des plasmas, 2000.
5. Maes M. M., *Déchets*, Edit. Johanet et Fils, (1992).
6. Pistone L, Ferruccio T, Mujeebur R, Stanislav M. “Destruction technologies for polychlorinated biphenyls (PCBs), *SiiRTEC NIGI S.P.A.*, University of Bologna, Internacional Center for Science and high Technology; Italy.
7. J. Pacheco, R. Peña, L. Peña, A. Segovia; G. Cota "Plasma Torch ignition by a half bridge resonant converter"; *Rev.IEEE Transactions on Plasma Science*. Vol. 27, N° 4, pp 1124-1130, (August 1999).
8. J. Pacheco, F. Ramos, A. Cruz, M, García-, J. Benítez, R. López. “Recovering Energetic gas from Hydrocarbon solutions treated by thermal plasma”, *Proceedings XXV ICPIG “International Conference on Phenomena in Ionized Gases”*, Nagoya, Japón, **Vol 4**, pp 135-136, (Julio 2001).
9. H. Lange, A. Huczko, G. Chojecki, J. Golimowski, W. Plotczyk, B. Ostrega, D. Dziadko, J. Pacheco, T. Ishigaki, H. Tanaka “Plasma treatment of incineration ashes”, *Advances in Plasma Chemistry*, Lublin 2002. *Acta Agrophysica* **80**, 327-334, (2002).
10. H. Medina, M. Pacheco, J. Pacheco, P. Teulet, J. Salon, M. Razafinimanana, J.J. Gonzalez; "Decomposition of heavy hydrocarbons wastes by thermal plasma processes. *Rev Int. Symposium on Plasma Chemistry*, Prague, Rep. Checa, Vol. V, pp 2471-2476, (1999).
11. J. Pacheco, M. Pacheco, R. Peña, A. Cruz, R. López , A. Huczko, H. Lange, M. Valdivia, L. Bernal; “Synthesis of Carbon Nanostructures by Thermal Plasma Torch”; *7th Brazilian Meeting on Plasma Physics and X Latin American Workshop on Plasma Physics*; (Nov-Dic; 2003).
12. J. Pacheco-Sotelo, E. Gutiérrez-Ocampo, J. Benítez-Read, C. Torres, R. Valdivia; M. Razafinimanana, J. J. Gonzalez, A. Gleizes, P. Teulet; “Control of a DC Plasma Torch for CNT Production,” *ISPC-594, Int. Proc. 16<sup>th</sup> International Symposium on Plasma Chemistry Taormina., Italy.*, (June 2003).