

Procesos industriales de vitrificación para soluciones de desechos líquidos de actividad alta

Reseña técnica de los procesos que se están utilizando activamente para tratar y solidificar en vidrio desechos líquidos

por W. Baehr

Los programas de gestión de desechos de actividad alta (HLW) en países que adoptan la alternativa de reelaboración del combustible se basan en la inmovilización de soluciones de HLW en formas monolíticas. Las actividades de investigación y desarrollo sobre solidificación de soluciones concentradas de productos de fisión comenzaron en algunos países hace más de 30 años. La labor inicial se encaminó principalmente a definir un material matriz adecuado y posteriormente a desarrollar técnicas para la solidificación a escala industrial.

Los materiales posibles para la encapsulación de productos de fisión han variado desde simples calcinas desnitrificadas hasta vidrios, incluidos materiales cerámicos cristalinos, o formas más complejas, tales como pastillas revestidas con materiales duraderos y vidrio o gránulos cerámicos embebidos en matrices inertes. Durante los últimos años, se ha ampliado el consenso de que el vidrio ofrece el mejor compromiso en lo que respecta a propiedades, facilidad de fabricación y experiencia. Se han investigado varios tipos de vidrios; no obstante, solamente se han seleccionado vidrios compuestos de silicato o borosilicato.

Se han desarrollado y demostrado en gran medida a escala mundial muchos procesos de solidificación, pero por varias razones no se emplean actualmente. No obstante, la experiencia adquirida con dichas instalaciones ha facilitado muchos datos pertinentes para el diseño de las instalaciones actuales. Las instalaciones de solidificación que actualmente se explotan activamente en el mundo a escala industrial utilizan exclusivamente el proceso de vitrificación.

Las principales etapas del proceso de vitrificación son la concentración de la solución de desechos líquidos de actividad alta (HLLW) por evaporación del agua y ácido nítrico; secado y calcinación, que descompone los nitratos a óxidos; reacción de los óxidos con aditivos vitrificadores y fusión para producir vidrios de HLW.

Según los procesos, estas etapas pueden ser separadas o combinadas; es decir, los procesos pueden ser de una o de varias etapas; las operaciones de secado y calcina-

ción se combinan en una unidad, calcinación en horno rotatorio, en el proceso más establecido.

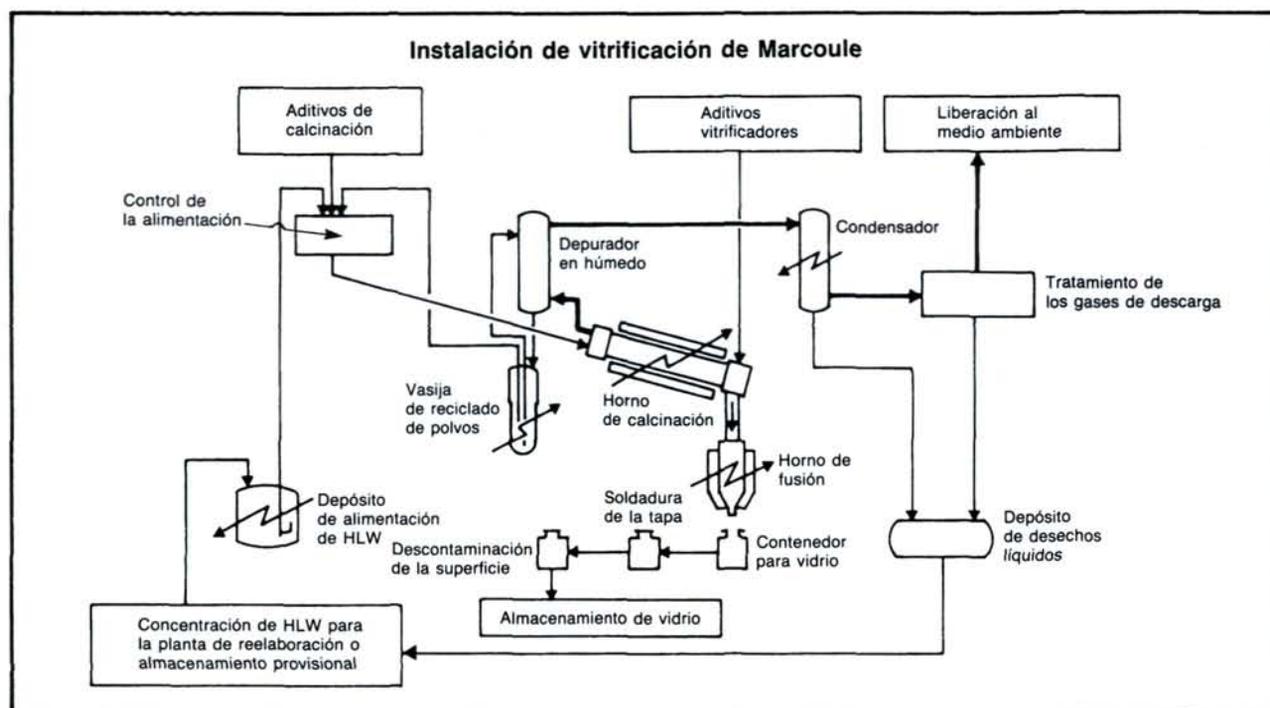
El proceso de fusión de vidrio puede realizarse básicamente o en un horno de fusión metálico o cerámico. El horno de fusión metálico puede ser un horno con calentamiento por inducción del crisol metálico con transferencia de calor al producto vítreo. Las principales ventajas de los hornos de fusión metálicos son el bajo costo y la fácil manipulación. La desventaja es que la capacidad de tratamiento se limita a 30 a 40 litros por hora. Los hornos de fusión cerámicos se calientan en general directamente mediante electrodos sumergidos, y alcanzan una capacidad de producción de HLLW superior a 100 litros por hora. No obstante, el proceso con hornos de fusión cerámicos se caracteriza hasta ahora por elevados costos y una manipulación comparativamente complicada.

Se han desarrollado dos procesos principales de vitrificación para la conversión de soluciones de HLLW a vidrios de borosilicato. Uno es el bien conocido proceso francés AVM (*Atelier de Vitrification Marcoule*), una técnica de vitrificación continua en dos etapas que comenzó con el tratamiento industrial de desechos de actividad alta en 1978. El otro proceso es el proceso continuo con horno de fusión cerámico en una sola etapa que ha sido objeto de demostración desde 1985, con desechos líquidos radiactivos, en la planta Pamela diseñada en la República Federal de Alemania y ubicada en Mol (Bélgica).

El proceso AVM

El proceso AVM consta de una combinación de un horno rotatorio y un crisol metálico calentado por inducción para la fusión del vidrio. (*Véase la figura adjunta.*) La solución de productos de fusión de actividad alta se alimenta con aditivos calcinantes al extremo superior del horno de calcinación, un horno tubular ligeramente inclinado que gira a 30 revoluciones por minuto (rpm). El horno se apoya en cada uno de sus extremos en cojinetes de rodillos. En cada extremo existen juntas estancas a los gases, que permiten la dilatación longitudinal y el mantenimiento de la estanqueidad. Una barra agitadora situada en el interior del horno está destinada a evitar la posible aglutinación. El tubo está calentado

El Sr. Baehr es funcionario superior de la División del Ciclo del Combustible Nuclear y de Gestión de Desechos del OIEA.



externamente por un horno de resistencia eléctrica dividido en cuatro zonas. Las dos primeras zonas destinadas a la evaporación tienen un poder calorífico de 20 kilovatios cada una y las otras de 10 kilovatios cada una. La temperatura varía de 225° Celsius en el punto de alimentación a un máximo de 600° Celsius. El caudal en la solución de desechos es normalmente de unos 40 litros por hora. La salida del horno de calcinación rotatorio está conectada al horno de fusión. Los productos calcinados circulan por gravedad hasta el horno de fusión que está calentado por inducción de frecuencia media hasta unos 1150° Celsius. El horno de fusión se alimenta simultáneamente con frita de vidrio y el vidrio se vierte a intervalos de 8 horas. La parte inferior del horno de fusión termina en una boquilla de vertido que permite vaciar el contenido por fusión de un tapón de vidrio normalmente sólido. La capacidad de tratamiento del horno de fusión es de unos 15 kg por hora.

Los gases de descarga producidos en el horno de fusión y en el de calcinación se expulsan a través de éste y se tratan primeramente en un depurador de gases en caliente. El depurador de gases retiene las partículas arrastradas y las disuelve en una corriente continua de ácido nítrico en ebullición. La solución resultante se recicla continuamente al horno de calcinación. Los gases de descarga se tratan entonces sucesivamente en una vasija de recombinación para tratar la fracción de vapor nitroso, dos columnas de absorción y filtros. Posteriormente los gases se descargan al sistema de ventilación. El ácido recombinado procedente del tratamiento de los gases de descarga se recicla.

El vidrio se vierte en un recipiente de acero inoxidable refractario que, una vez lleno, se sella con una tapa mediante soldadura automática por plasma. Posteriormente se descontamina por aspersión con agua a una presión de 250 bar y el recipiente se traslada a un

pozo ventilado de la instalación de almacenamiento provisional.

Al final de octubre de 1988, el AVM había convertido unos 1225 metros cúbicos de solución de productos de fisión en vidrio con un contenido total en actividad de 250 megacurios*. El resultado fue la producción de 1547 recipientes conteniendo unas 540 toneladas de vidrio de borosilicato.

El mismo proceso se va a utilizar en dos instalaciones de vitrificación diseñadas y construidas por SGN en el emplazamiento de reelaboración de combustible de La Hague. Las unidades son prácticamente idénticas: ambas comprenden tres líneas de vitrificación, cada una con una capacidad de evaporación de 60 litros por hora y una capacidad de producción de vidrio calculada en 25 kilogramos por hora.

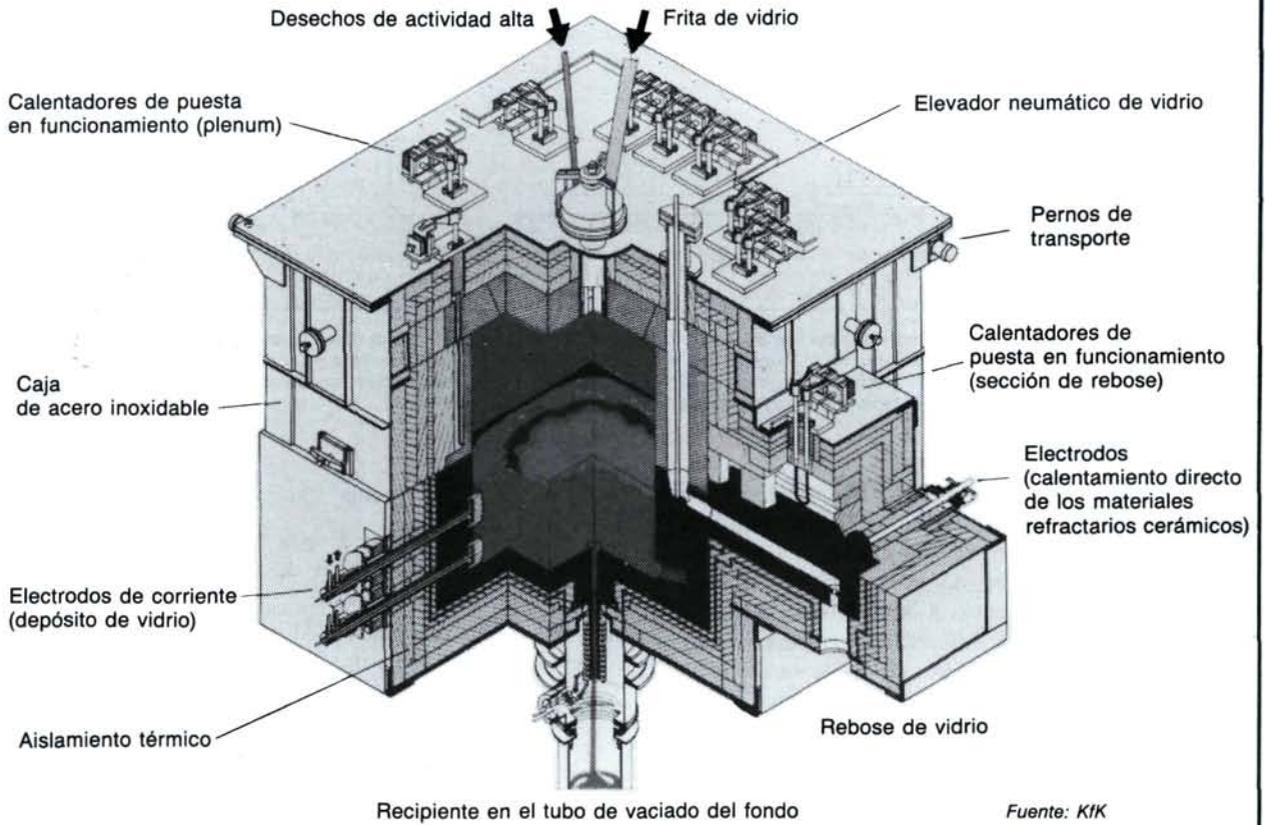
El proceso AVM se ha adoptado también en la instalación de la planta de vitrificación de Windscale (WVP), en Sellafield (Reino Unido), que utilizará equipo análogo con dos líneas de fabricación.

El proceso Pamela

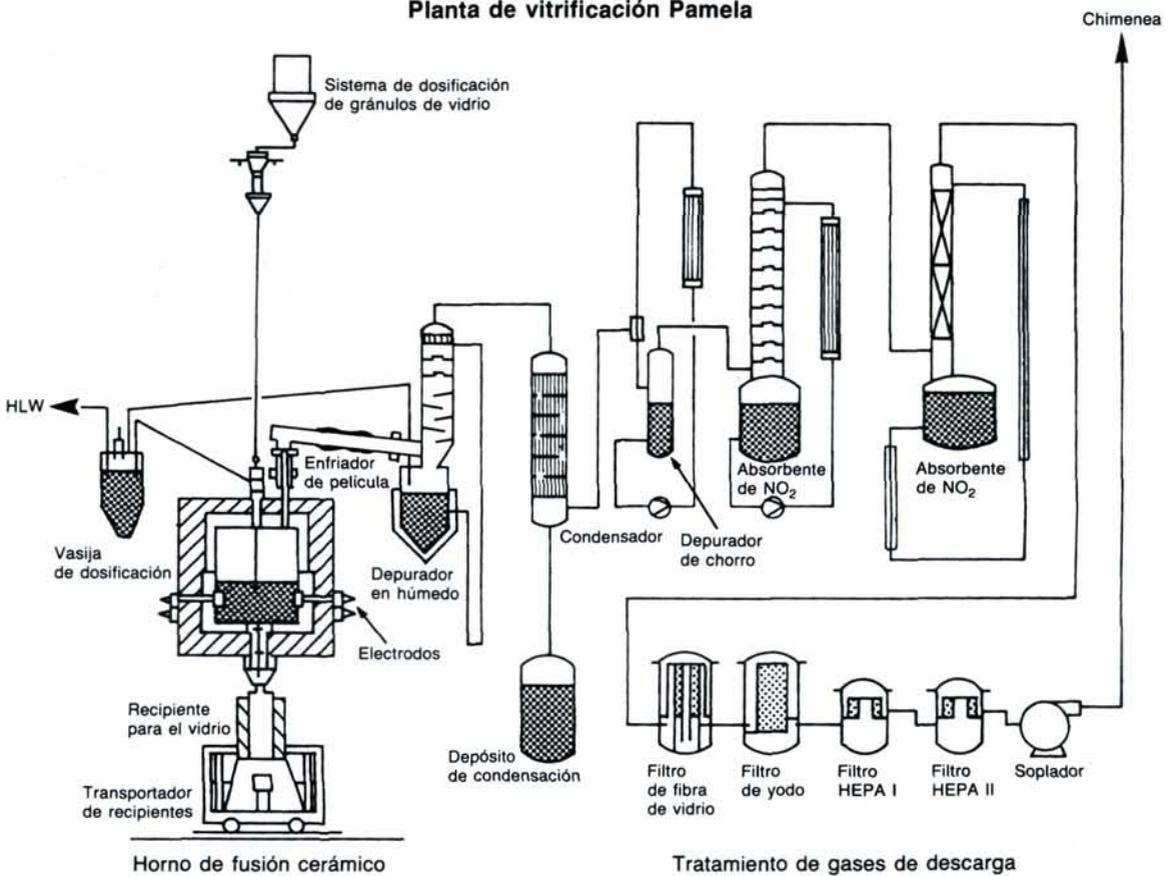
En la planta de vitrificación Pamela se utiliza un proceso de una sola etapa. Se basa en un horno de fusión cerámico alimentado con líquido en el que la solución de productos de fusión de actividad alta se alimenta directamente, conjunta o separadamente con las formas de vidrio, al horno de fusión de vidrio en el que se producen simultáneamente las etapas de evaporación, calcinación y fusión del proceso. El principio en el que se basa el funcionamiento del horno de fusión cerámico es el calentamiento de Joule, que puede utilizarse dado que el vidrio es un buen conductor eléctrico a elevadas temperaturas. Una corriente eléctrica alterna que pasa entre

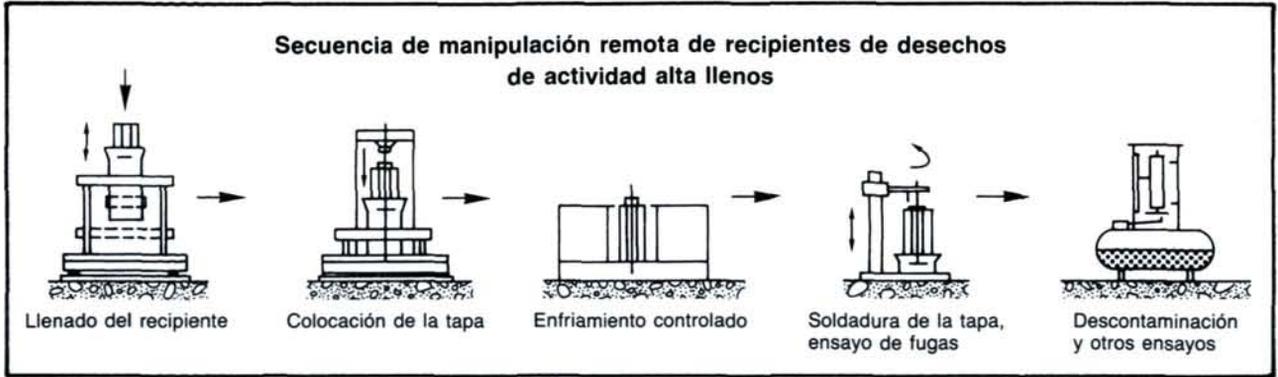
* 1 curio equivale a 37 gigabequerelios.

Horno eléctrico de fusión de vidrios para desechos revestido de material cerámico (proceso Pamela)



Planta de vitrificación Pamela





En la figura se representan los procedimientos de manipulación de los recipientes para vidrio generalmente aplicados en la plantas de vitrificación basadas tanto en el proceso AVM como en el Pamela. Una vez vertido el vidrio, el recipiente lleno se somete a una serie de operaciones para prepararlo para el almacenamiento interno o la evacuación definitiva. Las principales etapas de la operación son el enfriamiento controlado del recipiente lleno, la soldadura de la tapa, los ensayos de fugas y la descontaminación.

los electrodos sumergidos en el vidrio produce calor por efecto Joule. El calor de resistencia disipado mantiene el vidrio fundido y funde el material que llega. Estos hornos de fusión se construyen con materiales refractarios de elevada resistencia a la corrosión. La energía de entrada se obtiene mediante cuatro pares de electrodos de placa de Inconel-690, colocados a dos niveles en el depósito de vidrio del horno de fusión a 1150-1200° Celsius. (Véase la figura adjunta.) La descarga de vidrio puede llevarse a cabo mediante un tubo de fondo o mediante rebose apoyado por elevador neumático. Se utilizan dos circuitos de calentamiento para elevar la temperatura del vidrio en el tubo de salida del fondo para comenzar la circulación del vidrio. Para poner fin a la circulación del vidrio es necesario solamente desconectar uno de los circuitos de calentamiento. Se utiliza un sistema de calentamiento análogo para rellenar los recipientes con vidrio fundido a través del sistema de vaciado por rebose. Los gases de descarga del horno de fundición cerámico han de depurarse en un sistema de depuración de gases de descarga de varias etapas antes de permitir su liberación al medio ambiente. Los sistemas de depuración de gases de descarga de los diversos procesos de vitrificación son básicamente análogos. (Véase la figura adjunta en la que se representa un diagrama simplificado del proceso Pamela.)

Es preciso el enfriamiento controlado de los recipientes para evitar grietas en el vidrio y una calidad deficiente del producto. Los ensayos de fugas y la descontaminación garantizan que no se difunde contaminación en la instalación de vitrificación.

Desde el comienzo del funcionamiento de la planta Pamela, en octubre de 1985, hasta mayo de 1988, se han vitrificado aproximadamente 265 metros cúbicos de soluciones de desechos de actividad alta. Como resultado se han producido 1381 recipientes con un total de 265 toneladas de vidrio de borosilicato y nueve megacurios de actividad.

Observaciones finales

Durante la última década se han realizado grandes progresos en las técnicas de vitrificación de desechos líquidos de actividad alta.

El proceso francés AVM ha resultado ser un proceso seguro y con éxito durante años en Marcoule. En el emplazamiento de La Hague se han construido otras dos plantas con el mismo proceso horno de calcinación rotatorio/horno de fusión metálico. La primera unidad de las nuevas plantas comenzó sus actividades en 1989 y está previsto que la segunda comience a funcionar en 1990. Se encuentra en construcción una planta análoga en Sellafield, en el Reino Unido, que también comenzará a funcionar en 1990.

El proceso con horno de fusión cerámico que se encontraba en desarrollo durante la década de los años 70 ha sido elegido por diferentes países y se encuentra en diferentes etapas de aplicación. La República Federal de Alemania tiene en funcionamiento con éxito una versión Pamela en la planta de reelaboración belga Eurochemic. En la URSS ha funcionado de 1986 a 1988 una planta de vitrificación basada también en la tecnología del horno de fundición cerámico. Se encuentran en construcción actualmente plantas de vitrificación basadas en el horno de fusión cerámico en Savannah River y West Valley en los Estados Unidos y en el emplazamiento Tokai de Japón. Se encuentran en la etapa de diseño plantas en el emplazamiento de Hanford en los Estados Unidos y en Japón. Estas plantas son de una capacidad industrial en gran escala y satisfacen todos los criterios estándar industriales y nucleares.

Durante los próximos años, el proceso con horno de fundición cerámico se establecerá como operación segura y eficaz junto con el AVM. El vidrio de actividad alta producido en ambos procesos debe satisfacer los requisitos de evacuación establecidos por las autoridades para repositorios para HLW.

