



Guillermo MORALES CALVO es doctor en Ciencias Químicas por la Universidad Complutense de Madrid (1976). En 1974 ingresó en la JEN (hoy CIEMAT), desarrollando su labor técnica en la obtención de compuestos de uranio. Durante 1979 trabajó en Argonne National Laboratory y Oak Ridge N. L. en EE. UU. Participó después en diversos proyectos de Procesos Mineralúrgicos para beneficio de uranio, básicamente en la línea de combustión en lecho fluidizado.

Desde 1987 tiene a su cargo la Secretaría Técnica del Instituto de Tecnología Nuclear, así como la Dirección del Programa de Procesos Mineralúrgicos.



Pablo GASOS NADAL es doctor en Química Industrial por la Universidad Complutense de Madrid. Ha trabajado en el CIEMAT (antigua JEN) desde 1954, donde ha desarrollado sus actividades en distintas áreas de la Mineralurgia, especialmente relacionadas con el beneficio de menas de uranio. Ha actuado como experto del Organismo Internacional de Energía Atómica en varios países.



Juan OTERO DE BECERRA es licenciado en Ciencias Químicas, especialidad en Química Técnica (1974), por la Universidad Complutense de Madrid. Ingresó en la Junta de Energía Nuclear (hoy CIEMAT) en 1975, tomando desde entonces parte

activa en el diseño, construcción, puesta en marcha y operación de diversas plantas de tratamiento de minerales. En la actualidad es jefe de Proyecto de Tecnología de la Fluidización dentro del Programa de Procesos Mineralúrgicos y Estudios del CIEMAT.

PROGRAMA DE PROCESOS MINERALURGICOS

G. MORALES CALVO - P. GASOS NADAL - J. OTERO DE BECERRA

INTRODUCCION

La recuperación del uranio a partir de sus menas fue un aspecto del ciclo del combustible al que se le prestó atención en España desde el comienzo del desarrollo de la energía nuclear con fines pacíficos, siendo uno de los temas al que se ha dedicado un gran esfuerzo y en el que se ha conseguido desarrollar una tecnología que se ha aplicado a escala industrial, no sólo en el campo del uranio, sino que se ha extendido a otros elementos.

Este desarrollo estuvo apoyado en el descubrimiento de reservas de uranio, inicialmente en Hornachuelos (Córdoba) y posteriormente en las proximidades de Andújar (Jaén), en Ciudad Rodrigo (Salamanca) y la Haba (Badajoz). La JEN desarrolló las actividades de I + D, así como las de producción de concentrados, hasta que, con fecha 23-12-71, se creó la Empresa Nacional del Uranio, S. A. (ENUSA), a la que pasaron las actividades de producción, minas y plantas, salvo la fábrica de uranio de Andújar y las minas del Pedregal (Badajoz). Desde la creación de ENUSA la JEN quedó con las actividades de I + D.

Las actividades llevadas a cabo en el campo del beneficio del uranio han ido desde el montaje de laboratorios y plantas piloto hasta la aplicación de los resultados a nivel industrial, al tiempo que dicha tecnología se fue aplicando ocasionalmente a otros minerales y elementos no uraníferos.

Ultimamente, cuando la demanda por parte de ENUSA ha ido disminuyendo, se ha incrementado esa aplicación de procesos al sector energético e industrial en general; así ha tomado ya cuerpo la tecnología para la obtención de compuestos de uranio vía lecho fluidizado a su empleo en la combustión de carbón en lecho fluidizado.

DESARROLLOS REALIZADOS

Las actividades en este campo comenzaron con la fábrica de uranio de Andújar, que se construyó para tratar las menas de uranio de la zona sur de España. En este desarrollo se cubrieron todas las etapas, desde los estudios de laboratorio, ensayos en planta piloto, diseño, construcción y puesta en marcha. Los primeros estudios comenzaron en el año 1954 y la planta se puso en marcha a final de 1959. Hasta la clausura de esta planta en 1981, se introdujeron modificaciones como consecuencia de los desarrollos realizados en equipos y proceso, para adaptarla a las variaciones en las menas: recuperación de cobre por flotación y concentración (5), (4); sustitución de cambio de ion por extracción con disolventes (5), (6), (7), (8), etc.

En 1969 se comenzó el estudio de la recuperación del uranio del ácido fosfórico, proceso al que se dedicó un gran esfuerzo desde los estudios de laboratorio (9), pasando por planta piloto (10). Con la empresa de ingeniería

SENER se preparó un proyecto para la firma Fertilizantes Mexicanos (11), consistente en una planta para la recuperación del uranio de la planta de producción de ácido fosfórico que esta firma tiene en Pajaritos (México).

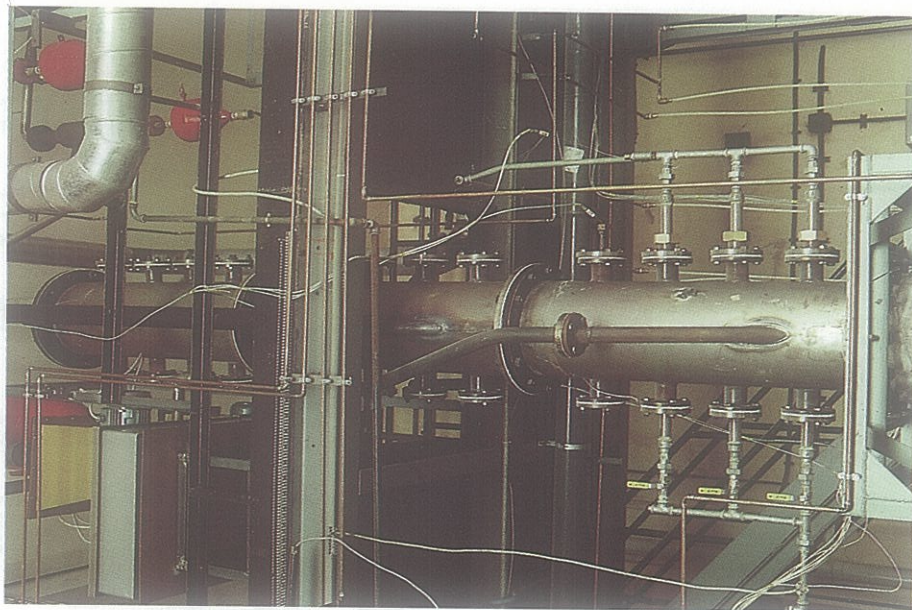
Las mayores reservas de uranio de España se encuentran en la zona de Ciudad Rodrigo (Salamanca). Estas menas se han estudiado con gran detalle, construyéndose en 1969 una planta piloto, y, tras la creación de la Empresa Nacional del Uranio, S. A. (ENUSA), ésta decidió construir una instalación «Planta Elefante» a la que el CIEMAT (entonces JEN) aportó la tecnología, realizó el proyecto y el diseño de los equipos de extracción (mezcladores-sedimentadores) (12); (13); (14).

Dicha planta constituye en la actualidad la unidad básica para la obtención de concentrado de uranio en España, con una producción de 230 t/año, la cual está en vías de ser ampliada, mediante el proyecto ENCINAR; en él, el CIEMAT también ha participado por medio de diversos estudios de mineral y equipos, así como en la confección del «Documento Básico de Proceso».

Para el estudio de las menas de la zona de Don Benito (Badajoz), que presentan unas peculiares características por su elevado contenido en arcillas, se montó una planta experimental con una capacidad de 100 t/d (15) en la que se estudiaba el lavado en contracorriente con ciclones seguido a la recuperación del uranio por el proceso de resina en pulpa. Esta planta pasó a ENUSA en 1981.

En la actualidad, se lleva a cabo un proyecto entre CIEMAT y ENUSA en el que el primero aporta básicamente la investigación y desarrollo, y el segundo la parte económica, encaminado a conseguir un proceso de cambio de ion continuo (CIX) en lecho fluidizado con el que se pretende la recuperación de uranio de soluciones de baja concentración y no necesariamente clarificadas. Dicho proyecto se encuentra en la fase de puesta en marcha de la planta de demostración con una capacidad de 10 m³/h, que ha sido montado en las instalaciones de ENUSA en Don Benito. Este proceso tiene como uno de sus principales alicientes el hecho de ser aplicable para el beneficio de cualquier otro elemento o para la eliminación de impurezas, ambos casos fuera del sector nuclear.

Un segundo proyecto finalizado recientemente, también para las instalaciones de Saelices el Chico de ENUSA, ha sido el de un horno de secado de concentrado, de trabajo continuo y automatizado. El horno, de etapas múltiples, ha sustituido la antigua instalación de secado en bandejas por cargas y manual y ha permitido alimentar con pulpas menos concentradas al tiempo



F I Beneficio de uranio de lignitos uraníferos

que obtener un producto de mayor concentración; así mismo el impacto radiológico sobre personas y ambiente ha quedado prácticamente anulado. Como en el caso anterior, el CIEMAT ha corrido con la parte de I + D del proyecto, así como su puesta en operación.

Los desarrollos realizados en proceso y equipos para las menas españolas de uranio se han venido aplicando en otros elementos, entre los que pueden citarse la recuperación de oro por lixiviación estática, beneficio de indio y germanio por extracción con disolventes, por citar algunos.

Asimismo, en colaboración con el Organismo Internacional de Energía Atómica, se han construido y puesto en operación equipos y baterías piloto para el estudio de la recuperación del uranio del ácido fosfórico suministradas a países en vías de desarrollo.

Una línea de trabajo, paralela en muchos aspectos a la que se ha descrito anteriormente, fue la de obtención de compuestos de uranio. En efecto, a partir de la operación de extracción-reextracción y conseguir una solución purificada de uranio, ésta sufría una serie de transformaciones mediante la técnica de fluidización, desarrollada ampliamente en la JEN desde la década de los cincuenta, para dar como resultado la obtención de trióxido de uranio, bióxido de uranio y finalmente tetrafluoruro de uranio. Este último producto, reducido mediante un proceso de magnetotermia, dio lugar a uranio metálico de calidad nuclear. Los desarrollos realizados en todo este proceso culminaron con la obtención de 55 toneladas de uranio metálico que tenía como fin la con-

tribución a la renovación de la primera carga del reactor de Vandellós.

Para llevar a cabo la obtención de esos compuestos de uranio (UO₃, UO₂, UF₄) vía lecho fluidizado fue necesario el desarrollo de esta tecnología trabajándose desde nivel de laboratorio hasta el de planta piloto o semiindustrial, ya que dadas las características del proceso, así como las peculiaridades de la técnica de la fluidización, fue necesario el trabajo continuo, hasta conseguir obtener la producción prevista.

La línea de obtención de compuestos de uranio, mediante lechos fluidizados, fue más tarde cambiada a nivel mundial; sin embargo, el CIEMAT, dado el esfuerzo que había realizado en ella, la aplicó después al beneficio de lignitos uraníferos.

En esta época, ya posterior a la primera crisis del petróleo del año 1973, existe una preocupación mundial sobre el medio ambiente, de ahí que ese proyecto de beneficio de lignitos uraníferos por combustión en lecho fluidizado tuviese tres objetivos claramente definidos: beneficio del uranio, beneficio energético e impacto ambiental.

El resultado de este proyecto fue también, como en otros muchos casos, muy positivo, dado que obligó de una parte a la investigación y desarrollo para poner en funcionamiento una planta piloto de combustión en lecho fluidizado, en aquel momento primera y única en el país; de otra parte se consiguió determinar las condiciones de proceso tanto para el beneficio del uranio a partir de las cenizas como del proceso de combustión en orden a un impacto ambiental mínimo.

Por último, estos diferentes estudios

seguidos con esa tecnología de fluidización han dado pie al actual potencial humano y material que en la actualidad posee el CIEMAT en el campo de la combustión en lecho fluidizado.

INFRAESTRUCTURA DISPONIBLE

Las actividades llevadas a cabo en el campo de la hidrometalurgia del uranio han ido desde el montaje de laboratorio y plantas piloto hasta la aplicación de los resultados a procesos industriales, que se han extendido a la recuperación de otros elementos que implican operaciones similares a las desarrolladas para el uranio (por ejemplo, extracción de disolventes, cambio de ion, etc.).

Los laboratorios actualmente instalados en el CIEMAT, dentro del Instituto de Tecnología Nuclear, disponen de los medios necesarios para el estudio de cualquier mena compleja de uranio y pueden ser utilizados, también, en el estudio de menas de otros elementos, cuyo beneficio implique diagramas de flujo con operaciones unitarias similares a las del tratamiento de las menas de uranio (1).

Además de estos laboratorios, pertenecientes al Programa de Procesos Mineralúrgicos del Instituto de Tecnología Nuclear, en el CIEMAT se dispone de laboratorios y servicios que suministran información en el campo de la mineralogía y del análisis químico, necesaria en el estudio de cualquier mena.

LABORATORIO DE PREPARACION DE MUESTRAS Y CONCENTRACION PREVIA

Existe una estación de demuestre en continuo con capacidad hasta 4 t/h, con tres etapas sucesivas de reducción de tamaño y demuestre, que permite obtener una muestra final del orden de un kilo por tonelada (2).

Asimismo, se dispone de un laboratorio de preparación de muestras hasta 1.000 kg y con un tamaño máximo de 150 mm, equipado con trituradoras de mandíbulas y de cono y molinos oscilantes para preparar muestras para ensayos y para análisis. Igualmente se dispone de equipos de mezcla, muestreo, separación de fracciones granulométricas por tamizado, etc.

Por otra parte, en este laboratorio de preparación de muestras y concentración previa están disponibles equipos para estudios de laboratorio de distintas operaciones entre las que pueden resaltarse:

- Molino de bolas para la determinación del índice de Bond.
- Equipos para determinación de distribuciones granulométricas: tamices hasta tamaños de 53 μm y cla-

sificador de aire para tamaños comprendidos entre 53 μm y 5 μm .

- Distintos equipos para estudios de separación magnética entre los que hay que resaltar un separador magnético húmedo de alta intensidad WHIMS (Wet High Intensity Magnetic Separator).
- Celdas de flotación.
- Separación gravimétrica por medios densos, etc.

LABORATORIO DE HIDROMETALURGIA

Incluye los equipos e instalaciones necesarios para el estudio de las diferentes operaciones unitarias que integran el diagrama de flujo de un proceso de tratamiento de menas, desde la solubilización hasta la obtención del concentrado. Las operaciones que pueden estudiarse son, fundamentalmente:

- Lixiviación. Incluye equipos para ensayos de lixiviación estática, con agitación, a presión, con bacterias.
- Separación sólido-líquido. Se dispone de equipos para ensayos de sedimentación, filtración, centrifugación, clarificación, etc.
- Extracción con disolventes. Pueden realizarse ensayos discontinuos, para estudios cinéticos y de equilibrio (isotermas), tanto de carga como de elución. Asimismo, está operativa una instalación continua, con una capacidad de 6-10 l/h, y cuyo diagrama de flujo puede ser adaptado a las exigencias del proceso en estudio.
- Cambio de ion. Los equipos para ensayos discontinuos de extracción sirven igualmente para el mismo tipo de estudios de cambio de ion. Además, se dispone de instalaciones para ensayos con columnas de lecho fijo (proceso discontinuo) y de lecho fluidizado (proceso continuo), etc.

Plantas piloto de combustión

El trabajo en la línea de combustión en lecho fluidizado, lógicamente, hace uso de las instalaciones de concentración previa, preparación de muestras, etc. Dispone de medios de análisis químicos para carbones y calizas, incluidos TGA.

- Instalaciones de fluidización burbujeante y circulante, en frío y a nivel piloto.
- Planta piloto burbujeante para combustión, de 0,2 MW (t) de funcionamiento continuo.
- Proyecto muy avanzado de una nueva planta piloto, circulante, de 0,4 MW (t).

En resumen, el Instituto de Tecnología Nuclear dispone de la infraestructura y



F II Cambio de ión continuo

base tecnológica necesarias para acometer cualquier estudio que implique el empleo de procesos hidrometalúrgicos, tanto para menas de uranio como de otros elementos, así como en la tecnología de combustión en lecho fluidizado, siendo en este caso prácticamente la única en el país en cuanto a plantas y medios disponibles.

COMENTARIOS

El Programa de Procesos Mineralúrgicos del CIEMAT, desde la creación de la JEN, ha cambiado en varias ocasiones su nombre, pero no su cometido y saber hacer en I + D, en el terreno de dichos procesos. Todo ello ha quedado plasmado tanto en procesos y plantas, hoy en funcionamiento, como en proyectos y líneas de trabajo hoy vigentes. En la actualidad, consciente de esa obligación, como apoyo tecnológico al país, y ante la disminución de demanda de trabajo por parte de ENUSA, antaño su principal colaborador, ha emprendido un giro en su especialidad de trabajo, para aplicar y rentabilizar ese largo desarrollo de muchos años a otros sectores industriales y energéticos no nucleares.