

J. RUIZ - M. CRIADO - S. CARRETERO - M.L. BORDONABA - J. ARTIEDA

LAS EXPLOTACIONES MINERAS DE ENUSA EN Saelices el Chico (CIUDAD RODRIGO, SALAMANCA)

Enusa comenzó su actividad minera en el año 1974 en el Centro de trabajo de Saelices el Chico (Ciudad Rodrigo, Salamanca) y desde entonces ha venido extrayendo mineral y tratándolo para obtener concentrados de uranio utilizados en el abastecimiento de las Centrales Nucleares Españolas.

En este artículo se pretende dar una idea de la evolución de los métodos y técnicas empleadas durante todos estos años.

INTRODUCCIÓN

La Empresa Nacional del Uranio, S.A. (ENUSA) fue creada en Abril de 1972. Entre las funciones encomendadas figuran la exploración, investigación y explotación de los yacimientos uraníferos para la producción de concentrados de uranio.

El Estado transfirió a ENUSA en 1973, para su explotación, el dominio minero en el que se encontraban los yacimientos descubiertos por la antigua Junta de Energía Nuclear (JEN), en la provincia de Salamanca.

Desde Junio de 1974, ENUSA viene efectuando la explotación del yacimiento FE.

SITUACIÓN GEOGRÁFICA

Los yacimientos FE y D se encuentran situados al oeste de la provincia de Salamanca a 90 km. de la capital y a unos 10 km. de Ciudad Rodrigo, en los términos municipales de Saelices el Chico y Carpio de Azaba. El acceso a las actuales EE.MM. se efectúa desde la carretera local de Ciudad Rodrigo a Lumbrales.

ENCUADRE GEOLÓGICO

ENCUADRE REGIONAL

Los yacimientos de uranio Fe y D encajan en

metasedimentos del Complejo Esquisto Grauváquico, de edad supuesta Precámbrico sup. - Cámbrico inf., que están recubiertos en parte por sedimentos terciarios y pliocuaternarios.

La serie representada es una alternancia monótona de materiales detríticos finos (filitas) y otros más gruesos (areniscas y cuarcitas), con intercalaciones locales de niveles conglomeráticos, calcosilicatados y anfibólicos. Son característicos los ritmos estratigráficos, con frecuentes estructuras sedimentarias primarias.

Es muy importante la deformación sufrida por estos materiales bajo la influencia de la Orogenia Hercínica, así como la fracturación posteriormente desarrollada.

MINERALIZACIÓN DEL URANIO

Los minerales de uranio rellenan brechas de falla y filoncillos, de potencia variable (milímetros a decímetros) y sin una dirección predominante.

La paragénesis más característica es de tipo hidrotermal y está formada por pechblenda (coffinita), carbonatos, adularia y sulfuros de hierro (pirita). La alteración supergénica del yacimiento en explotación está muy desarrollada, con formación de numerosos minerales secundarios de uranio: gummitas, uranotilo, autunita, torbernita, ianthinita, saleita, sabugalita, uranopilita, etc. .

OPERACIÓN MINERA

En este punto se describe la evolución tanto de los parámetros tenidos en cuenta en la ejecución de los Proyectos de Explotación, como de las distintas fases de la Operación Minera.

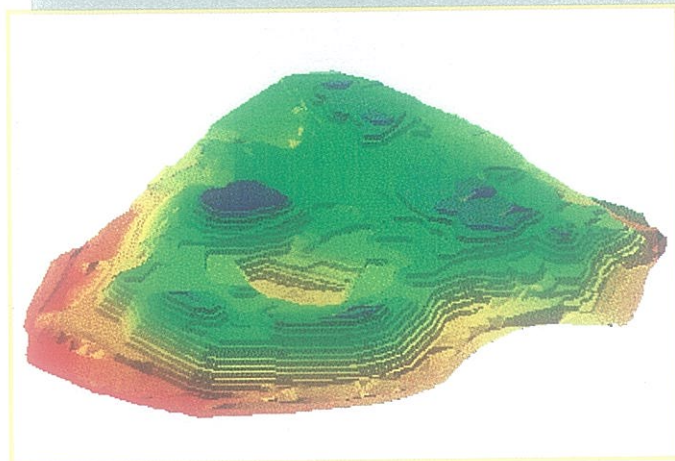
PROYECTOS DE EXPLOTACIÓN

La explotación de yacimientos de baja ley, como pueden ser los de oro o uranio, requieren de una intensiva investigación mediante sondeos de los yacimientos, detalladamente desmuestreados química o radiométricamente, como en nuestro caso. Ésto da lugar a un ingente número

FI - Vista general corta Fe



F II - Corta Fe



de datos que no habría manera de utilizar sin el concurso de la informática y en concreto de programas muy específicos.

Los yacimientos en explotación han sido reconocidos mediante una malla de sondeos de 10x10m, 70m de profundidad y un des-

muestre cada 10cm. El hardware de diseño consiste en una estación de trabajo (workstation) SUN, con lenguaje UNIX, y alta capacidad de memoria RAM (64 MB) y almacenamiento de datos (más de 5 GB), integrado en la red general del Centro de Trabajo (MicroVax - Windows NT), sobre el que opera un conjunto de programas específicos comerciales, así como otros desarrollados en la propia Empresa.

El software se trata de un conjunto de programas comerciales y propios, mediante los cuales se puede recorrer todo el proceso de gestión de datos, evaluación, cubricaciones y diseño y optimización de los huecos de explotación. Así se dispone de:

- **SERMINEL**.- Capitación de datos, homogeneización, geoestadística y generación de un modelo del yacimiento.
- **SURPAC**.- Paquete, que aunque dispone de bastantes de las características del anterior, resulta más útil para la realización de evaluaciones, cubricaciones y formación de modelos digitales del terreno y del yacimiento.
- **WHITTLE FOUR-D**.- Paquete informático especializado en la optimización económica de los huecos de explotación en tres dimensiones, determinando la secuencia temporal óptima de explotación.

Parámetros de proyecto

Dadas las características geológico-estructurales del yacimiento y la distribución de la mineralización, la explotación de los yacimientos se realiza mediante minería a cielo abierto.

Dadas las características de la roca los ángulos de los taludes finales oscila, dependiendo de las zonas, entre 45° y 60°, lo que en las actuales condiciones económicas tiene como resultado la necesidad de explotar con una relación estéril/mineral (t/t) de 6; considerando una ley de corte de 240 ppm U₃O₈ (ley media = 670 ppm U₃O₈).

La explotación se realiza con una altura de banco de 6 m

FASES DE LA OPERACIÓN MINERA

Perforación

Inicialmente se utilizaron equipos de perforación neumáticos de tipo semiautomático con martillo en cabeza y que podían

Tabla I
EVOLUCIÓN DE LA PERFORACIÓN DE PRODUCCIÓN (1974 - 1996)

Equipo	Tipo	Compresor	Martillo	Nº Equipos	Diámetro Perforación (mm)	Longitud de los barrenos (m)	Inclinación de los barrenos	Malla	Accesorios Perforada	Periodo
MACO-MEUDOM	Neumático	Independiente	Cabeza	4	32	3,8	63°	1,2 x 1,8	Barrena Integral	1974-1977
HOLTRAC (JOY)	Neumático	Independiente	Cabeza	4	64	3,8	63°	1,8 x 2,40	Varilla Integral (Single-Pass)	1978-1980
JOY	Neumático	Independiente	Cabeza	4	76	3,8	63°	3 x 3,90	Varilla Integral (Single-Pass)	1981-1987
FIXTRAK (TAMROCK)	Hidráulico	Incorporado	Cabeza	1	115	7,5	72°	3,5 x 4,5	Varillaje y tuberías varias (Single-Pass)	1988-1990
DM-45 INGERSOLL RAND	Hidráulico	Incorporado	Fondo (2) Rotativa (1)	3	165	7,5	Vertical	4,5 x 5,6	Tubería (Single-Pass)	1991-1995

Tabla II
EVOLUCIÓN DE LAS VOLADURAS (1974-1996)

Periodo	Diámetro Perforación (mm)	Altura Banco (m)	Sobreperforación (m)	Malla	Esquema	Iniciación	Cebado	Secuenciación	Retacado	Consumo Específico (g/t)	Tipo Explosivo	Carga de los Barrenos	kg de los explosivos voladura
1974-1977	32	3	0,80	1,2 x 1,8	Líneas paralelas	Detonador eléctrico	Fondo	Detonadores eléctricos	Arena arcillosa	160	Goma 2	Manual	200
1977-1980	64	3	0,80	1,8 x 2,4	Líneas paralelas al frente	Detonador eléctrico	Fondo	Detonadores eléctricos	Tacos de arcillosa	165	Goma 2	Manual	400
1981-1987	76	3	0,8	3 x 3,90	Líneas paralelas al frente	Detonador eléctrico	Fondo	Detonadores eléctricos	Arena y arcillosa	170	Riogel (65 mm)	Manual	2.000 a 4.000
1988-1990	115	6	1,5	3,5 x 4,5	V	Detonador eléctrico	Fondo	Relés (50 ms)	Arena arcillosa	175	Riogel (85 mm)	Manual	4.000 a 6.000
1991-1995	165	6	1,5	4,5 x 5,6	Líneas paralelas al frente	Detonador eléctrico	Fondo axial	Relés (50 ms)	Detritus perforación	225 a 275	Riogel (125 mm) nagolita -Granel -Vertible	Manual Mecánica	6.000 a 12.000
1994-1997	165	6	1,5	4,5 x 5,6	Líneas paralelas al frente	Detonador eléctrico	Fondo	Relés (50 ms)	Detritus perforación	225 a 275	Emulsión	Mecánica	Hasta 12.000

perforar a un diámetro máximo de 1 1/2", actualmente se están utilizando equipos hidráulicos, totalmente automatizados, rotopercutivos con martillo en fondo y rotativos, con diámetros de perforación de 6 1/2", pudiendo llegar hasta diámetros de 7 3/4".

En la tabla I, se puede ver la evolución de la perforación de producción de ENUSA desde el inicio de la operación minera hasta el momento actual.

En la actualidad se dispone de equipos de perforación rotopercutivos con martillo en fondo, para las zonas mas profundas del yacimiento (resistencia a la compresión simple > 80 MPa) y rotary para las zonas mas superficiales mismas (resistencia a la compresión simple entre 70 y 80 MPa).

Todos los barrenos de las voladuras son testificados radiométricamente afin de determinar con precisión la posición y calidad de una mineralización terriblemente errática y concentrada en fisuras y diaclasas de pequeño espesor.

Arranque

El arranque de zafras se realiza esencialmente mediante voladuras con explosivos.

A partir del año 1985 con objeto de abaratar costes y mejorar la productividad, se introdujo para el arranque en cotas altas de la mina, totalmente estériles, el movimiento de zafras mediante escareado con ripper, para lo cual se utilizaban bulldozers de gran potencia, tipo CAT-D10 y KOMATSU 375 A.

a) Arranque mediante Escareado con ripper

De acuerdo con los estudios sísmicos realizados se determinó que hasta una profundidad máxima de 15 m, medidos a partir de la superficie del terreno, la velocidad sísmica era inferior a los 2.500 m/s.

Debido a que esta zona de montera es totalmente estéril y a que los bulldozers actuales pueden ripar, de forma rentable, terrenos con velocidades sísmicas de hasta 3.500 m/s, se decidió a partir de 1985, comenzar las campañas de ripado en mina FE.

b) Arranque mediante voladuras

El 90 % del arranque total de zafras se realiza mediante voladuras con explosivos.

ENUSA viene realizando desde el comienzo de su actividad minera, pruebas y experiencias para ajustar los parámetros técnicos de la voladura y seleccionar el explosivo más idóneo.

Pero fué a partir del cambio de la altura de banco de explotación (3 a 6 m) y del aumento del diámetro de perforación (165 mm), cuando se aceleraron los cambios que han conducido a la situación actual, en la que, mediante una malla de voladura de 4,5 x 5,6 m, que cubre una superficie de 25,2 m² y utilizando Emulsión como explosivo, se han conseguido voladuras, seguras, económicas y que producen una pila volada de excelentes características técnicas.

En la tabla II se refleja la evolución cronológica de los parámetros técnicos y tipos de explosivo utilizados en las voladuras efectuadas por ENUSA, desde el comienzo de la operación

minera hasta el momento actual.

En la figura I se puede ver un esquema de las voladuras con emulsión.

Desde Diciembre de 1993 toda la emulsión que se consume, es suministrada desde una fábrica propiedad de UEE, situada dentro del Centro Minero, en terrenos propiedad de ENUSA, que tiene una capacidad máxima de producción de 12.000 t de emulsión/día.

Radiometría

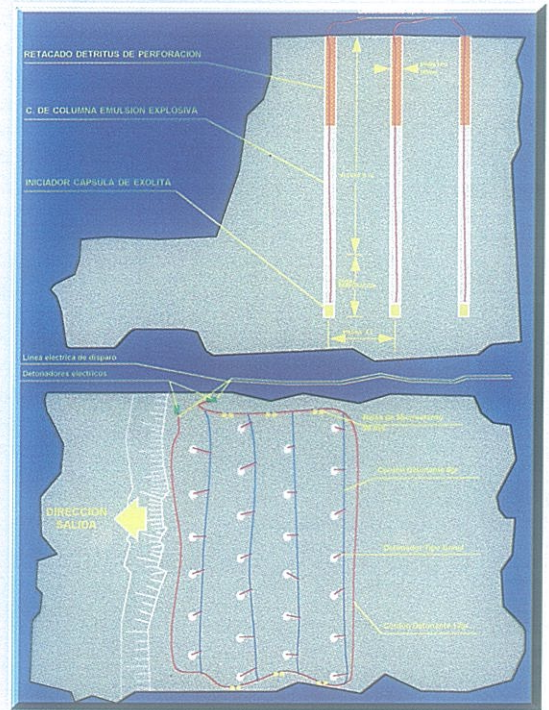
Pese al conocimiento de la distribución de la mineralización en los bancos de explotación (proyecto de explotación, testificación de barrenos de voladura, estudios geológicos y estructurales) es necesario, para evitar diluciones y pérdidas de mineral, un control exhaustivo del cargue en el propio frente de trabajo.

Inicialmente y hasta el año 1987, este control radiométrico se efectuaba cazo a cazo, lo que alargaba inadmisiblemente el ciclo de carga y consecuentemente disminuía el rendimiento del conjunto, aumentando proporcionalmente el coste de la operación.

A partir de ese momento y hasta la actualidad se han instalado pórticos radiométricos que deciden la calidad del mineral transportado por cada camión de 85t, comunicándolo al conductor mediante un semáforo de tres colores.

En la actualidad, con objeto de reducir las distancias de transporte a las que obligaban la condición de fijos de los pórticos radiométricos existentes, se ha diseñado y construido un pórtico móvil que permite situarlo a la salida del tajo de explotación, si bien las decisiones de este arco, por efecto del fondo de radiación existente en la proximidad de los tajos, que afectan a la homogeneidad de la medida, no pueden ser tomadas por definitivas siendo obligado que los camiones que superen una cierta medida de radiación se desplacen a los arcos fijos, para que definitivamente su contenido sea tomado como mineral o estéril, esto permite reducir en una 6 parte el numero de camiones que debían realizar este trayecto.

F III - Esquema de voladura



F IV - Carga y transporte



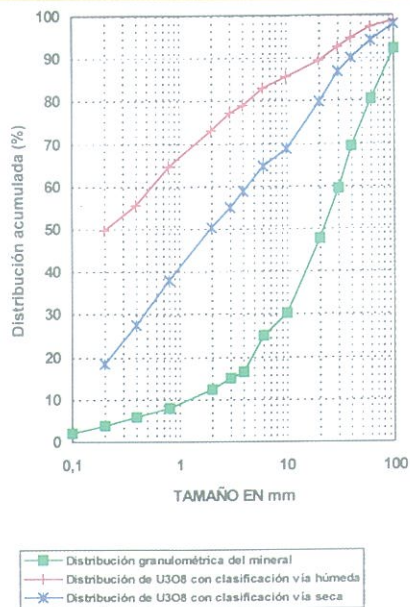
Carga y transporte

La carga y transporte de zafras, al igual que el resto de las actividades de la operación minera, ha ido evolucionando de acuerdo con la variación de los parámetros de proyecto y las necesidades de producción.

Inicialmente toda la operación de carga y transporte estaba subcontratada y los equipos empleados eran palas cargadoras de 2 m³ de cazo y dumpers de 20 t de capacidad, en la actualidad la carga y transporte la realiza ENUSA con sus propios medios, humanos y materiales, y los equipos empleados son palas de 10 m³ de capacidad de cazo y dumpers de 85 t.

El equipo actual de carga y transporte y auxiliar

FV - Distribución acumulada (%)



está formado por las siguientes unidades:

- 2 Palas CAT 992 C
- 4 Dumpers CAT 777 B
- 1 Dumpers Terex 33-07
- 1 Pala CAT 988 B
- 1 Tractor Komatsu 375 A
- 1 Tractor D 8 K
- 1 Motoniveladora 16 G
- 1 Empujador 824 C
- 1 Cuba de riego de 40 m³
- 1 Cuba de riego de 17 m³

Producciones

Desde el comienzo de la operación minera hasta finales de 1996 se han producido 65 M de toneladas de zafra, de las que 55 M han sido estéril y 10 M han sido de mineral.

El estéril se ha almacenado en siete escombreras, seis exteriores a los yacimientos y una interior, ubicada en una zona agotada del yacimiento FE.

De estas escombreras, dos están agotadas y en fase de restauración y clausura y las otras están en operación.

Para el año 1997 está previsto mover 4 M de toneladas de zafra, de las cuales 0,6 M serán de mineral.

TRATAMIENTO DE LOS MINERALES

Los minerales uraníferos son beneficiados en la totalidad de los casos mediante métodos hidro-metalúrgicos, bien sea mediante el concurso de ácidos o de bases.

La naturaleza de los minerales de la Provincia de Salamanca y de su roca acompañante lleva irremediablemente al uso de tecnologías de tratamiento y disolución del uranio por vía ácida.

Sin embargo dentro de esta tecnología existe la posibilidad de aplicar diversas técnicas lixiviantes entre las que destacan, por mas normales y

habituales, las denominadas de lixiviación estática en pilas y la lixiviación dinámica en tanques agitados.

ENUSA cuenta con amplia experiencia en las dos técnicas, ya que como se ha indicado en la introducción comenzó su andadura minera con la explotación del yacimiento FE en el año 1974 y el beneficio de sus minerales en la planta ELEFANTE, resultado de las investigaciones habidas con anterioridad en una pequeña planta experimental denominada planta ELE (siglas de Estación de Lixiviación Estática) y llevadas a efecto por técnicos de la extinta Junta de Energía Nuclear, descubridora también de los yacimientos.

La *Planta Elefante* funcionó durante 20 años con gran eficiencia basada únicamente en técnicas de lixiviación estática, y donde mediante el concurso de una intensa actividad bacteriana, adecuadamente incentivada y controlada, se consiguió obtener consumos de ácido del orden de 4 kg/t.

La colaboración de la bacteria *tiobacillus ferrooxidans*, posibilita la disolución del uranio al oxidar al hierro, presente en las piritas acompañantes del mineral, quien a su vez se encarga de oxidar el uranio, que pasa de tetravalente a hexavalente, forma en la que es soluble en agua. Los líquidos recogidos, tras su percolación a través de los montones de mineral, eran tratados mediante Extracción con disolventes orgánicos, los que, actuando de forma selectiva sobre el ion uranilo, lo extraen de la solución fértil (licor percolante) abandonando en ésta al resto de sustancias acompañantes, entre las que destaca el hierro, un cierto exceso de acidez y una población bacteriana, que hacen idóneos a estos líquidos para su recirculación, inoculando así poblaciones bacterianas en nuevas eras y aprovechando el hierro y ácido residual en las reacciones de disolución.

El profundo conocimiento de los minerales alcanzado durante estos 20 años de operación llevó al descubrimiento de una peculiari-

dad, consecuencia de la génesis del yacimiento. La realización sistemática de análisis granulométricos, a la salida de una machacadora de impacto Babbittes, y el análisis químico del uranio de cada una de las fracciones obtenidas llevó a la conclusión de que a medida que se profundizaba en el yacimiento las fracciones más finas contenían porcentajes de uranio más altas que sus correspondientes más gruesas. Si además estas granulometrías se realizaban mediante vía húmeda el resultado mejoraba.

Esta característica permitiría realizar una concentración del mineral mediante técnicas clásicas de clasificación por vía húmeda, eliminando la fracción más gruesa del mineral (mayor de 15 mm) por ser su contenido en uranio inferior al necesario para pagar un proceso de conminución importante y su posterior tratamiento mediante lixiviación ácida.

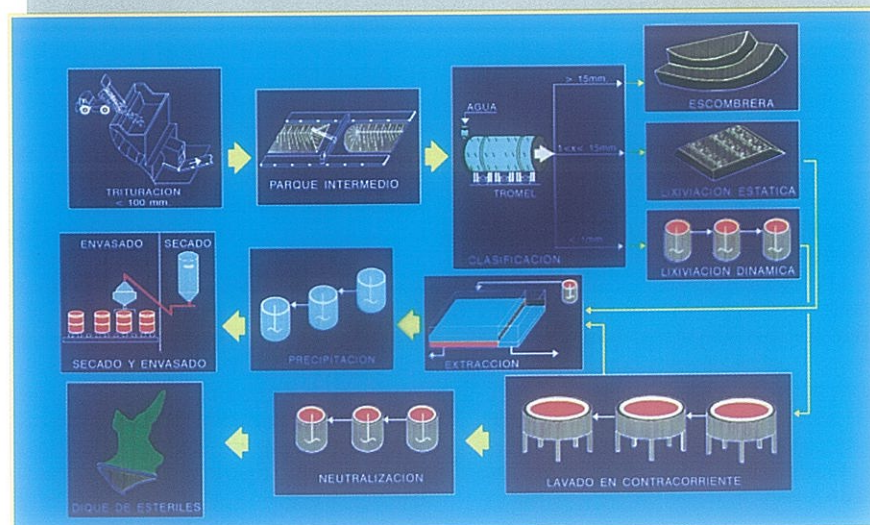
Aparece también una fracción intermedia (entre 15 mm y 1 mm) con contenidos en uranio medios, que si bien no pagarían un proceso de lixiviación dinámica, de mejor rendimiento pero caro, si pagaría un proceso de lixiviación estática, más barato aunque más ineficiente, y en el que se aprovecharía toda la experiencia habida durante los años de funcionamiento de la *Planta Elefante*.

La fracción más fina (inferior a 1 mm) transporta el mayor contenido de uranio y sus leyes son del orden de 4 veces las del mineral todouno de entrada. Esta fracción al ser realizada la clasificación por vía húmeda está acompañada de la totalidad del agua utilizada, por lo que debido a este hecho, a su mayor contenido en uranio y a su granulometría puede ser tratada directamente por lixiviación dinámica.

PLANTA QUERCUS

En el año 1986, con el fin de aprovechar las reservas de los yacimientos de la Provincia de Salamanca se decide proyectar una nueva planta de tratamiento incluyendo en su diagrama de flujo el aprovechamiento de la característica anteriormente reseñada.

FVI - Planta Quercus. Esquema de funcionamiento



F VII - Vista frontal. Trituración



F VIII - Parque de minerales



F IX - Clasificación



Tabla III

EQUIPOS

Función	Máquina	Modelo	Comentarios
Machaqueo 1º de impactos	Trituradora	KHD-PEG 200/220	675 t/h
Machaqueo 2º	Trituradora de impactos (HARDOPACT)	KHD-PEH 160/210	270 t/h
Captación de Polvo	Filtros de Mangas	DEFISA (SONAIR JET)	130.000 Nm³/h
Transporte	Banda	TAJM-TFG	Diversos anchos

Así se diseña una planta con capacidad para 950 t de U_3O_8 /año, que pueda tratar minerales de yacimientos distintos pero de similares características y que, tras diversos avatares, entre ellos la caída del telón de acero y la irrupción en el mercado occidental de concentrados, procedentes de la Unión Soviética, de muy bajo precio, se pone en marcha en 1993.

La Planta Quercus se diseña a parte de para que cumpla su función con los siguientes criterios :

- Resulte ergonómica para sus trabajadores, evitándose espacios cerrados con difíciles accesos, evitándose zonas de acumulación de aguas y lodos, que en nuestro caso serán ácidos, etc.
- Sea fácil la detección de fugas de líquidos ácidos o con contenidos de uranio.
- Exista seguridad de que sus líquidos de proceso queden retenidos y no puedan acceder al río Águeda en caso de fallo catastrófico de tanques, ante un terremoto, etc.
- Se integre en el paisaje adhesionado de la zona de manera que su impacto visual sea mínimo.

Trituración

El mineral todo-uno, proveniente de mina, presenta unas granulometrías que van desde un par de metros, hasta las más finas, por ello el primer paso es reducir su tamaño hasta un valor máximo de 100 mm que resulta manejable para el resto de las operaciones.

El machaqueo se realiza mediante machacadoras de impacto KHD organizadas en dos líneas y

dos etapas. La primera etapa la constituyen machacadoras modelo PEG 200/220 y la segunda etapa machacadoras tipo hardopact modelo PEH 160/210.

La capacidad productiva es de 675 t/h por línea. La instalación está dotada de un moderno sistema de captación de polvo constituido por sus correspondientes carenados, conductos, soplantes y filtros de mangas que garantizan que no existan emisiones por la chimenea de concentraciones de polvo superiores a los 15 mg/Nm³.

La eficacia del sistema está controlada mediante un opacímetro situado en la chimenea.(tabla III)

Parque de Minerales

El régimen de funcionamiento de la mina difiere del de la planta de tratamiento, por lo que es necesario separar ambas mediante un almacenamiento intermedio, para ello se dispone de un parque de minerales con una capacidad entre 50.000 t y 60.000 t después de la trituración, dotado de máquinas de apilado y recogida.

La necesidad de tratar minerales de diversos yacimientos y dentro de los mismos de áreas diferentes hace muy recomendable disponer de un parque de almacenamiento intermedio que asegure una alimentación de calidad homogénea a la siguiente sección, por lo que el parque, en sus sistemas de apilado y recogida, han sido con-

cebido como homogenizador, esto se consigue a través de un llenado longitudinal y una recogida transversal de el mineral.

Clasificación

El mineral recogido en el parque es enviado a la sección de clasificación donde después de ser lavado enérgicamente en un tromel es clasificado en los tres tamaños descritos con anterioridad obteniéndose las fracciones:

TAMAÑO	U3O8	MINERAL	EMPLEO
>15 mm	15% del U3O8	65% del todo-uno	Se envía a escombrera
15 mm > f < 1 mm	20% del U3O8	20% del todo-uno	lixiviación estática
< 1 mm	65% del U3O8	15% del todo-uno	lixiviación dinámica

La sección se compone de los equipos o etapas reseñados en la tabla IV.

La capacidad de la sección es de 10.000 t día para un contenido en finos del orden del 11%.

La fracción más fina es transportada hidráulicamente desde el área de preparación mecánica de minerales hasta la planta de proceso químico que dista 1.500 m de la anterior, para ello se dispone de dos líneas de 5" y 6" de diámetro constituidas por tubería de acero carbono recubierto interiormente de poliuretano centrifugado, fabricadas por INELAS; el

Tabla IV

función	máquina	marca/modelo	comentarios
desenlodado	tromel 11 m * 3,7 m Δ	ERAL-CM37.11	520 t/h
corte a 15 mm	criba vibrante de doble paño	COMESSA-VTT 2*6	520 t/h y cortes a 25 mm y 15 mm.
corte a 3 mm	criba vibrante	COMESSA-VTT 2,5*6	172 t/h
corte a 100 micras	hidroclasificador	MINOBRA	100 t/h, 680 m³ H₂O/h
corte a 1 mm	tamizadores	MINOBRA-DF	81 t/h, 40 m³ H₂O/h
corte a 0,5 mm	tamizadores	MINOBRA-TAM 16*10	Circuito cerrado molinos 39 t/h, 16 m³ H₂O/h
molienda fina	2 molinos de bolas	KHD 2,5*2 m Ø	26 t/h, 20 m³ H₂O/h
espesado	espesador 20 m Ø	Dorr-Oliver	35 % densidad salida
bombeo	bombas horizontales bombas verticales	Wenco Ercole Marelli	

bombeo se realiza por medio de dos bombas en serie suministradas por Allis-Chalmers.

Lixiviación dinámica

La fracción más fina, < 0,5 mm, a su llegada al

área de tratamiento químico es recepcionada en un espesador de 30 m de diámetro donde la pulpa se concentra en sólidos, 55 % p/p, y los líquidos sobrenadantes son recirculados nuevamente a la sección de clasificación.

FX - Lixiviación dinámica y lavado



FXI - Balsas y pontones



El hundido del espesador es bombeado a una serie de 8 reactores agitados, en cascada, donde se pone en contacto con ácido sulfúrico y MnO₂, como oxidante, siendo el tiempo medio de residencia de 12 h.

Durante este tiempo se consigue disolver el 92% del uranio presente, siendo necesario proceder posteriormente a la separación sólido-líquido, lo que se realiza mediante 5 etapas de lavado y decantación en contra corriente, utilizándose una serie de 5 espesadores de 30 m de diámetro, y sus co-

rrespondientes tanques agitados, suministrados por Dorr-Oliver.

La construcción de los espesadores es mixta, usándose hormigón para las soleras, pilares y fondos y acero al carbono para las virolas, estando recubiertos en su parte interior por poliuretano aplicado mediante proyección.

Tanto los reactores de lixiviación como los espesadores se han construido elevados sobre bosque de pilares de manera que los fondos sean fácilmente revisables y evitar así la existencia de túneles o fosos que hacen muy penoso el trabajo de los operarios.

Como resultado final de estas etapas se obtienen unas pulpas estériles, que previo el ajuste de pH son enviadas a la presa de residuos, o dique de estériles, y unos líquidos o soluciones fértiles que contienen el uranio disuelto, y que una vez clarificadas, para lo cual se emplea un clarificador de lamellas y una serie de tres filtros de arena, son enviados a la etapa de concentración y refinado.

Lixiviación Estática

La fracción intermedia, de 1 a 15 mm, como ya se indicó con anterioridad, es tratada mediante lixiviación estática.

Para ello se apila sobre una superficie de terreno impermeabilizada con lámina de polietileno de alta densidad, soldada en sus uniones por termo fusión, dotando a la misma de una serie de sumideros y un red de recogida de efluentes.

Una vez el montón alcanza unas dimensiones determinadas, formando lo que se viene a llamar un módulo, se le instala un sistema de riego mediante aspersores resistentes al ácido y se comienza su riego, empleando para ello líquidos ácidos reciclados del proceso, principalmente de la sección de extracción con disolventes.

Los líquidos percolantes son recogidos en balsas y enviados a la sección de clarificación, donde se unen al flujo, solución fértil, proveniente de la etapa de lixiviación dinámica y lavado en contracorriente.

Extracción con disolventes orgánicos

Las soluciones fértiles, exentas de sólidos en

suspensión, pero con toda una serie de impurezas disueltas acompañando los iones uranio, requieren de un refinado que permita conseguir una disolución libre de impurezas. Esto se consigue mediante la extracción con disolventes, en nuestro caso se trata de una mezcla de compuestos orgánicos: queroseno, actuando como soporte, una amina terciaria, actuando como elemento activo, y de un alcohol, que facilita la posterior separación de las fases orgánicas y acuosas.

El proceso se realiza en cuatro etapas de extracción y cuatro de reextracción, o elución, consistentes en una serie de tanques agitados donde son puestas en contacto la fase acuosa con la fase orgánica, transfiriéndose los iones de una a otra; pasando posteriormente a una serie de decantadores donde se separa, al ser inmiscibles, la fase orgánica de la acuosa.

En las etapas de extracción el uranio es transferido desde la solución fértil, acuosa, a la fase orgánica selectiva por éste metal. Posteriormente se debe de realizar la operación inversa denominada de reextracción, consistente en poner en contacto nuevamente la fase orgánica cargada de uranio con una fase acuosa compuesta de una disolución de sulfato amónico ligeramente acidulada, que extrae el uranio y al mismo tiempo lo concentra al usarse una cantidad de agente de extracción netamente inferior a la de solución fértil entrante.

Con ello se consigue disponer de unos líquidos con un contenido de 15gr/l de uranio exentos de otras impurezas y que permiten ya la precipitación directa del uranio.

Precipitación

La solución anterior presenta una ligera acidez que permite mantener la totalidad del uranio en disolución, si esta acidez es llevada a un valor de 7,5 el uranio presente pasa a su forma insoluble y precipita en forma de Diuranato Amónico, producto de un intenso color amarillo que le ha valido el nombre internacional de "yellow cake", con un contenido medio de 75% de U.

El Diuranato Amónico una vez filtrado y lavado es secado y envasado para su envío a los conversores en hexafluoruro de uranio forma en la que es enriquecido en el isótopo fisible.

Producción

En la actualidad, debido a la coyuntura desfavorable del mercado, la producción de concentrados de uranio es de 300 t/año para lo cual la Planta de tratamiento funciona mediante campañas de 12 días.

PROTECCIÓN RADIOLÓGICA Y MEDIO AMBIENTE

Hacer compatible la actividad industrial con la seguridad de los trabajadores y la protección del medio ambiente es un objetivo prioritario de ENUSA en sus Explotaciones Mineras de Saelices el Chico.

En los aspectos relacionados con la seguridad e higiene de los trabajadores, tienen especial relevancia los temas relativos a la Protección Radiológica, materializados en diversos programas de vigilancia de las condiciones de trabajo, en el control de las dosis recibidas por los trabajadores, en las medidas de planificación de actividades y de mejora de los procesos de producción llevadas a cabo para reducir la exposición de los trabajadores; así como en las campañas de deformación que se realizan periódicamente con el fin de dar a conocer los riesgos asociados al trabajo con radiaciones, las medidas de protección establecidas y la importancia de cumplir las normas. Igualmente ENUSA cuida que el impacto sobre el entorno, derivado de la operación minera y del funcionamiento de la planta de tratamiento, se mantenga bajo un estricto control y dentro siempre de los condicionantes fijados por los Organismos competentes en materia de Medio Ambiente.

Los programas de seguimiento y medida de los efluentes permiten comprobar el cumplimiento de los límites de las emisiones gaseosas y de los vertidos líquidos impuestos, asegurando la co-

F XII - Protección radiológica y medio ambiente



rrcta operación de los sistemas de depuración y control.

Paralelamente a esos programas, se recogen muestras de los distintos medios del entorno (aire, aguas superficiales y subterráneas, fauna, flora, suelos y sedimentos), en los que se analizan parámetros radiológicos, físicos, químicos... para poder así evaluar el impacto de la instalación sobre el medioambiente.

Una buena muestra del esfuerzo de ENUSA por mantener el equilibrio entre sus actividades y la conservación del medioambiente son las labores de Restauración de Terrenos. De esta manera se consigue, no solo la recuperación del paisaje afectado por la minería, sino también la regeneración del suelo para su posterior utilización forestal y ganadera.



• **Javier RUIZ SÁNCHEZ-PORRO** es Ciencias Geológicas por la Universidad de Granada (1978). Después de trabajar en la E.N. ADAROJEN durante 1980, se incorpora a ENUSA en 1981 como Técnico de Proyectos de Explotación, mientras se realiza el PNEU.

En 1986 se integra en el Departamento de Exploración en Ciudad Rodrigo, como jefe de Proyectos.

En 1991 pasa a desempeñar el cargo de Jefe de Planificación y Control de Leyes de Mina Fe, y desde el año 1996 es Jefe de Investigación y Planificación Minera.

• **Marcial CRIADO MARTÍN** es Ingeniero de Minas por la ETSIM de Madrid. En 1976 inició su carrera profesional en ENUSA como Ingeniero de Proyectos.

En Junio de 1990 fue nombrado Jefe del Grupo Minero de ENUSA en el Centro de Saelices-Ciudad Rodrigo cargo que desempeñó hasta Marzo de 1997 que fue nombrado Subdirector de dicho Centro.

• **Santiago CARRETERO SANZ** es Licenciado en Química Industrial por la Universidad Complutense de Madrid.

Ingresó en ENUSA en el año 1991 como Jefe de Montaje del Proyecto Quercus desarrollando a su terminación las labores de Jefe de Ingeniería de Proceso de la Planta Quercus hasta su nombramiento de Jefe de Planta en marzo de 1997.

Antes del ingreso en ENUSA trabajó en el sector de gases industriales en la empresa CARBUROS METÁLICOS llegando a Director de la Planta de Producción de Tres Cantos.

• **María Luisa BORDONABA PÉREZ** es licenciada en Química Industrial por la Universidad Complutense de Madrid y Diplomada en Ingeniería Ambiental por la Escuela de Organización Industrial. En 1986 ingresó en ENUSA como Jefe del Servicio de Protección Radiológica de la Fábrica de Concentrados de Uranio Planta Elefante.

En 1994 fue nombrada responsable de Protección Radiológica y Medio Ambiente de la Planta Quercus.

• **Juan Ignacio ARTIEDA GONZÁLEZ-GRANDA** es Ingeniero de Minas por la ETSIM de Madrid y PDG por el IESE. En 1978 inició su carrera profesional en ENUSA como Ingeniero de Proyectos.

En Junio de 1986 fue nombrado Subdirector de la División de Minería y Director del Proyecto Quercus pasando a desempeñar sus funciones en las oficinas de Madrid. En septiembre de 1991 fue nombrado Director del Centro de Saelices el Chico (Ciudad Rodrigo-Salamanca) cargo que ocupa en la actualidad.