

APLICACION Y DESARROLLO DE TECNOLOGIAS PARA LAS ACTIVIDADES DE ENUSA EN MINERIA Y PRODUCCION DE URANIO

APPLICATION AND DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR ENUSA'S URANIUM MINING AND PRODUCTION ACTIVITIES

Manuel ISLA

Manuel ISLA es Doctor Ingeniero Industrial por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid. Realizó los Cursos de Postgraduados de Ingeniería Nuclear en la Junta de Energía Nuclear, Madrid; Harwell Reactor School, Inglaterra, e International School of Nuclear Science and Engineering, Argonne National Laboratory, USA. Desde 1974 es Director General de la Empresa Nacional de Uranio, S. A. (ENUSA), empresa responsable en España de los aprovisionamientos nacionales y del desarrollo de las actividades industriales del ciclo del combustible nuclear. Previamente fue Subdirector para energía eléctrica del Sector de Energía del Instituto Nacional de Industria; Ingeniero de energía eléctrica del International Bank for Reconstruction and Development (Banco Mundial), en Washington, D.C., USA, e Ingeniero de centrales térmicas y nucleares en Hidroeléctrica Española. Es Vocal de los Consejos de Administración de la Empresa Nacional de Electricidad, S. A. (ENDESA), y de la Empresa Nacional Hidroeléctrica del Ribagorzana, S. A. (ENHER).



Manuel ISLA graduated and received his Doctor's degree in industrial engineering from the Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Madrid. He also attended graduate courses on nuclear engineering at the Junta de Energía Nuclear, Madrid; Harwell Reactor School, UK, and ISNSE, Argonne National Laboratory, USA. Since 1974, Manuel Isla is Director General of the Empresa Nacional del Uranio, S. A. (ENUSA), the company responsible for the procurement, commercial and industrial activities of the nuclear fuel cycle in Spain. Previously, he was deputy Director of the Energy Sector, for electric power; power Engineer of the International Bank for Reconstruction and Development (World Bank), Washington, D.C., and Engineer in the thermal and nuclear power plant department of Hidroeléctrica Española, S. A. He is a member of the boards of the electric public utilities Empresa Nacional de Electricidad, S. A. (ENDESA) and Empresa Nacional Hidroeléctrica del Ribagorzana, S. A. (ENHER).

La Empresa Nacional del Uranio, S. A. (ENUSA), fue formada en 1972 para acometer y desarrollar las actividades de aprovisionamiento e industriales del ciclo del combustible nuclear en España. ENUSA es propiedad en el 60 % del Instituto Nacional de Industria (INI) y en el 40 % de la Junta de Energía Nuclear (JEN).

El propósito de este artículo es presentar una información general sobre las experiencias de ENUSA en la aplicación y desarrollo de tecnologías para sus actividades de minería y producción de uranio, de las que, dentro de la organización de ENUSA, es responsable directa la División de Minería y Producción de Uranio.

Los yacimientos de uranio que ENUSA tiene en explotación están situados en las zonas de Ciudad Rodrigo, Salamanca, y de Don Benito, Badajoz. La fuente tecnológica de ENUSA para la explotación de estos yacimientos ha sido y es la JEN, que desde hace unas tres décadas viene experimentando y desarrollando técnicas mineralúrgicas aplicables específicamente al tratamiento de los minerales de dichas zonas.

Además de sus trabajos y experiencias de laboratorio, la JEN diseñó, construyó y operó una planta piloto experimental (Planta ELE) en las inmediaciones del yacimiento FE, en Saelices el Chico, Ciudad Rodrigo, y la Fábrica General Hernández Vidal de Andújar, Jaén, en producción desde 1958 a 1981, con capacidad de tratamiento de 200 t mineral/día, y en la que se trataron minerales de yacimientos próximos y después de otras provincias, particularmente de la zona de Don Benito.

Esta experiencia tecnológica amplia, variada y práctica ha sido y es de gran utilidad para ENUSA, que desde el comienzo de sus actividades mineras, a principios de 1973, ha contado con la estrecha colaboración de la JEN, con la que se comparten las experiencias de la explotación y que participa activamente en los continuados trabajos y proyectos de desarrollo y en los estudios de nuevos proyectos.

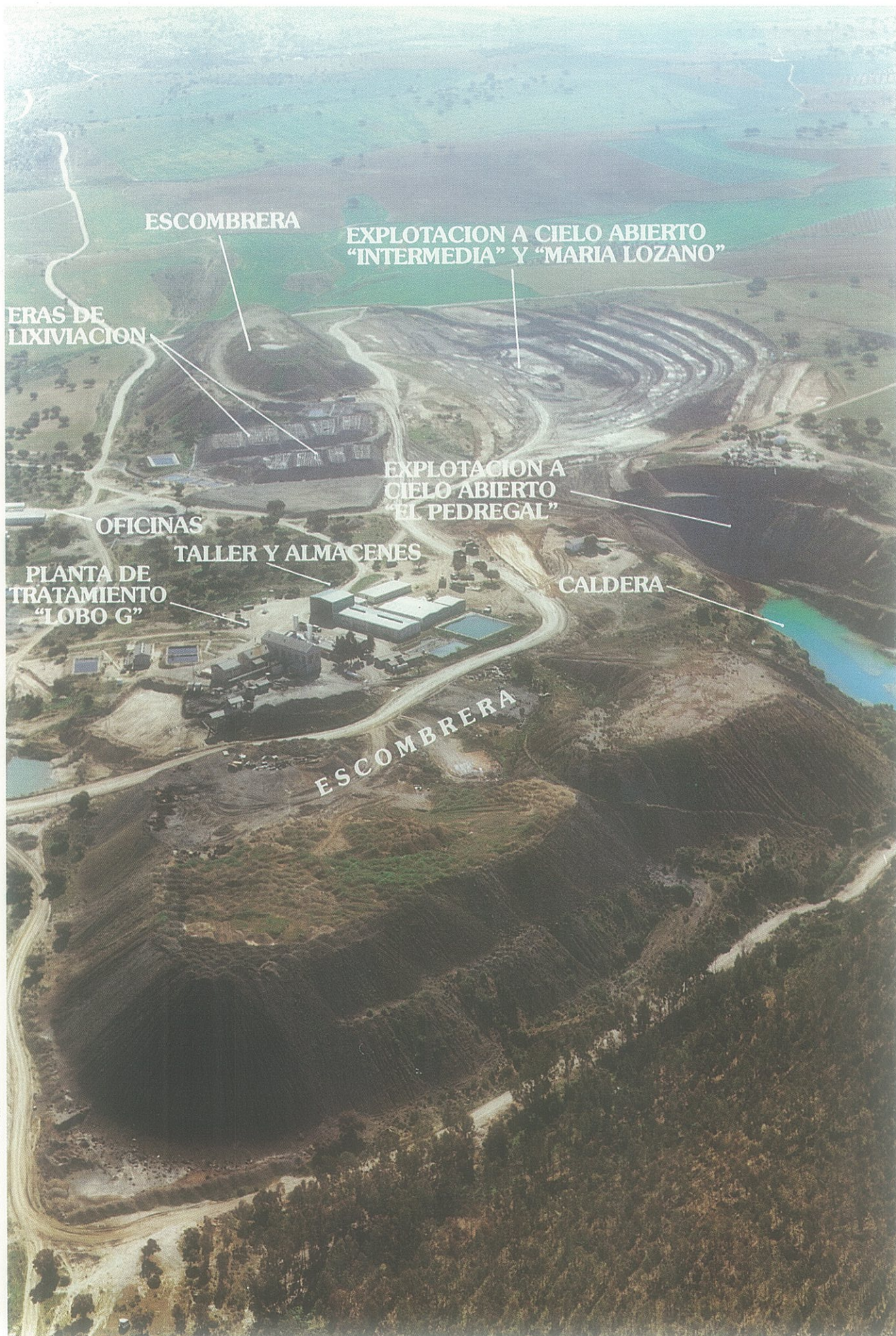
The Empresa Nacional del Uranio, S. A. (ENUSA) was formed in 1972 to undertake and develop the industrial and procurement activities of the nuclear fuel cycle in Spain. ENUSA is 60 % owned by the Instituto Nacional de Industria (INI) and 40 % by the Junta de Energía Nuclear (JEN-Nuclear Energy Board).

The purpose of this article is to present general information on ENUSA's experience in the application and development of technologies for its uranium mining and production activities for which, within the organization of ENUSA, the «División de Minería y Producción de Uranio» is directly responsible.

ENUSA is mining and milling uranium deposits in the areas of Ciudad Rodrigo, Salamanca, and Don Benito, Badajoz. ENUSA's technological source for these operations is the JEN, which for three decades has been experimenting and developing mineralurgical techniques specifically applicable to the processing of the ores from those areas.

In addition to its laboratory work and experiments, the JEN designed, built and operated an experimental pilot plant (Planta ELE) at the FE deposit in Saelices el Chico, Ciudad Rodrigo, and the General Hernández Vidal Plant in Andújar, Jaén, in production from 1958 to 1981, with a processing capacity of 200 t ore/day, in which ore from nearby deposits was processed, later bringing in ore from other provinces, particularly from the Don Benito area.

This wide-ranging, varied and practical technological experience has been and is very useful to ENUSA, which from the start of its mining activities, at the beginning of 1973, has had the close collaboration of the JEN, with which it shares its operating experiences and which participates actively in the continuing development work and projects and in the studies of new projects.



ESCOMBRERA

EXPLOTACION A CIELO ABIERTO
"INTERMEDIA" Y "MARIA LOZANO"

ERAS DE
LIXIVIACION

EXPLOTACION A
CIELO ABIERTO
"EL PEDREGAL"

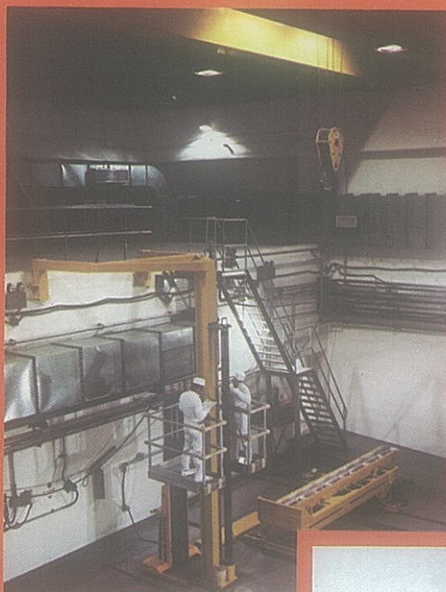
OFICINAS

TALLER Y ALMACENES

PLANTA DE
TRATAMIENTO
"LOBO G"

CALDERA

ESCOMBRERA



**POST-RELOAD Decontaminations with:
WEPA Decontamination System.
Reactor Cavity Cleaner RMI and RM2.**

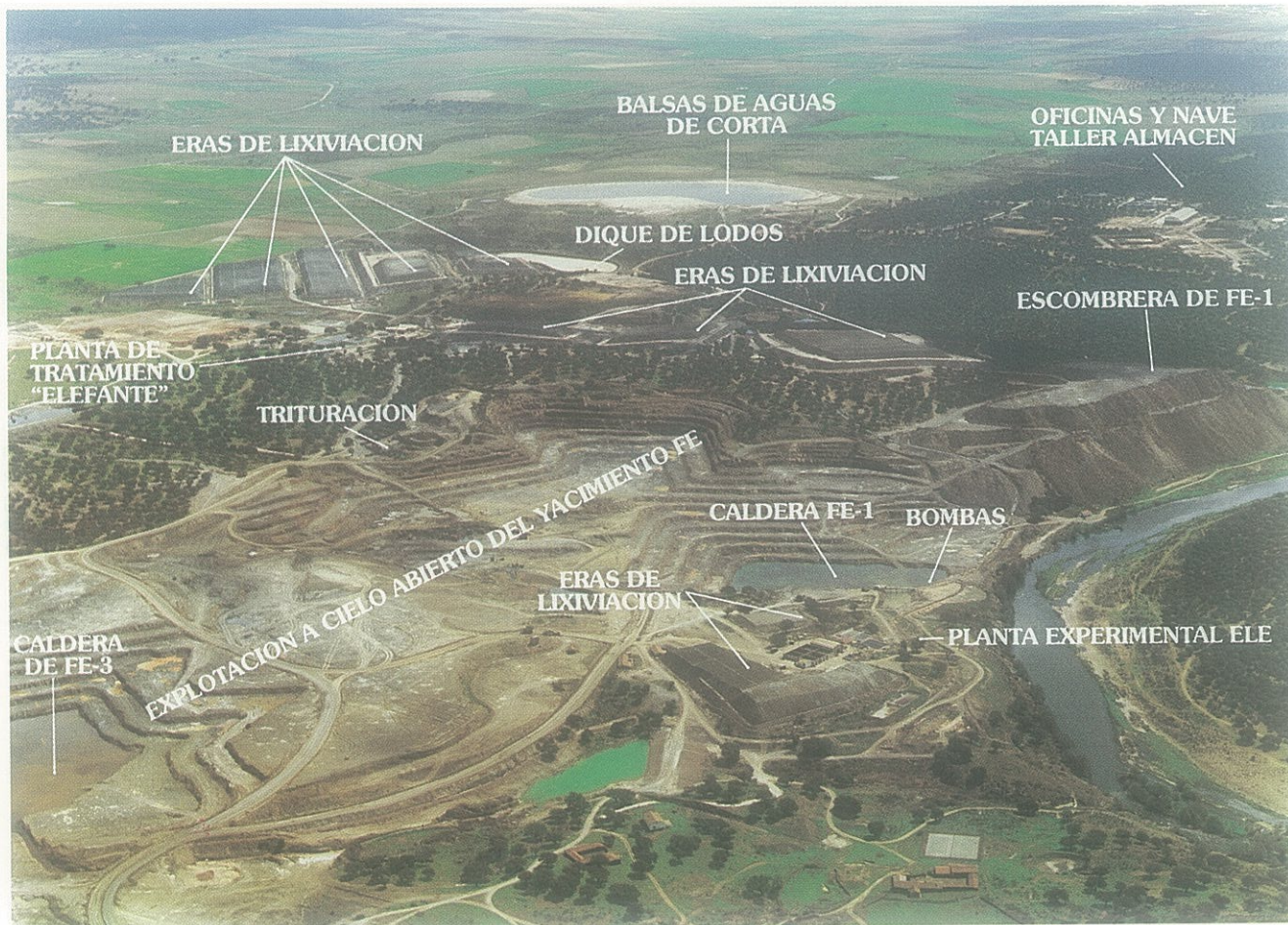


- Cleaning of buildings, equipment and nuclear facilities in construction and erection stage.
- Stainless steel and galvanizations special cleanings
- Exteriors and roads machinized cleanings
- Works and support services for conditioning and maintenance of facilities
- Fire protection services
- Hydrodynamic cleaning and hydrostatic tests for fluids systems
- Maintenance during operation:
 - Radioactive decontamination and cleaning of Controlled Areas
 - Equipment, Tools and Implements decontamination
 - Radioactive Waste Handling

LIMSA

LIMPIEZAS Y ACONDICIONAMIENTOS INDUSTRIALES, S.A.

Palleter, 13 - 1.º Tel. (96) 326 90 07 - 326 88 05-06. Telex: 64049 Dosl e. 46008 VALENCIA. Spain



EXPLOTACION MINERA DE CIUDAD RODRIGO

A principios de 1973 ENUSA acometió un proyecto para la explotación a ritmo modesto del yacimiento FE, basada en minería a cielo abierto, lixiviación estática de los minerales y una planta hidrometalúrgica (Planta Elefante) para la obtención de los concentrados de uranio, partiendo de los líquidos fértiles obtenidos en la lixiviación.

Minería a Cielo Abierto del Yacimiento FE

El yacimiento FE está constituido por una anárquica mineralización en las brechas y fallas de las pizarras cambrianas (tipo stockwork), con un escaso recubrimiento que permite su explotación a cielo abierto. Aplicando una ley de corte de 200 p.p.m. las reservas de este yacimiento ascienden a unas 9.500 t U_3O_8 . La ley media del mineral es de 650 gr U_3O_8 /t.

Con una ley media tan baja ha sido necesario establecer una operación minera basada en la selectividad y en impedir el ensuciamiento del mineral. El banco de trabajo tiene una altura de 3 m, pequeña para explotaciones a cielo abierto. La mineralización se controla según la correspondencia radiométrica-ley, mediante frecuentes y programadas lecturas radiométricas en los barrenos de voladura, en el mineral arrancado y en el cazo de la pala cargadora. Las voladuras para el arranque del mineral se realizan cuidadosamente para evitar su ensuciamiento.

Con estos criterios, se planifica rigurosamente la explotación para períodos de hasta cinco años, partiendo de la información geológica obtenida en la explotación e investigación del yacimiento, con las correspondientes mallas de sondeos de percusión y de testigo, completada con la identificación detallada de todas las fallas y brechas del yacimiento y con la investigación minera, por medio de sondeos destructivos a malla de 7 x 7 m y 15 m de profundidad.

EXPLOTACION MINERA DE CIUDAD RODRIGO

At the beginning of 1973 ENUSA undertook a project for the exploitation at a modest rate of the FE deposit, based on open pit mining, heap leaching and a hydrometallurgical plant (Planta Elefante) for obtaining uranium concentrates from the pregnant liquors.

Open Pit Mining of the FE Deposit

The Fe deposit is an anarchical mineralization in the fissures and faults of the Cambrian slates (stockwork type), with a shallow overburden allowing open pit mining. Based on a cutoff grade of 200 p.p.m. U_3O_8 , this deposit has ore reserves of some 9,500 t U_3O_8 . The average ore grade is 650 g U_3O_8 /t.

With such a low ore grade the mining operation has had to be based on selectivity and preventing the ore-waste mixing. The benches are 3 m high, relatively small for open pit operations. Mineralization is controlled through the correlation radiometry-grade, by frequent scheduled radiometrical measurements in the blast holes, in the blasted ore and within the bucket loader. Blasting is done carefully by minimizing rock movements to prevent ore-waste mixing.

With these criteria, the mining operation is planned in detail for periods of up to five years, on the basis of geological information obtained in the exploration and investigation of the deposit, with the corresponding core and wagon drillings, complemented with the detailed identification of all deposit fissures and faults and with the mining investigation, by 15 m deep destructive holes on a 7 meter square grid.

En la actualidad, para continuar la mejora de la explotación minera se están desarrollando varias investigaciones y estudios: algoritmo de cálculo de reservas mineras en función de diferentes leyes de corte y fondos de corta, con optimización de la recuperación de uranio y de los resultados económicos de la explotación; sistema de clasificación radiométrica de mineral de uranio y de pesada en cazo de pala cargadora, en colaboración con AITEMIN; y sistema de registro de los datos de radiación que se obtienen en la testificación de los sondeos de reconocimiento y de los barrenos para la voladura, en colaboración con DISEDA.

Tratamiento del mineral y producción de concentrados de uranio

El mineral, triturado a tamaños inferiores a 50 mm, se trata por lixiviación estática en eras de forma troncopiramidal que se riegan con una solución ácida, que percola a través del mineral y disuelve el uranio. Los líquidos fértiles, con una concentración media de 1 g U_3O_8/l , pasan a la etapa de extracción con disolventes, donde se tratan en baterías de mezcladores sedimentadores, con un disolvente orgánico que retiene prácticamente la totalidad del uranio. Las aminas cargadas se tratan a continuación en contracorriente con un agente de reextracción, obteniéndose una solución acuosa muy concentrada en uranio (30 g U_3O_8/l) y con muy pocas impurezas. Por precipitación con amoníaco-gas, filtrado y secado en estufa, se obtienen los concentrados de uranio en forma de diuranato amónico.

La experiencia en la explotación y los continuados trabajos en paralelo para mejorar los rendimientos han dado lugar a la modificación de algunos parámetros operativos, tales como distintas concentraciones de reactivos en lixiviación, distribución de tiempos de riego y maduración, utilización en proporciones crecientes de líquidos refinados ácidos reciclados en lugar de soluciones lixiviantes frescas, condiciones de operación en la fase de extracción, etc. Se ha conseguido así aumentar notablemente la capacidad de producción y disminuir el consumo de reactivos: se ha reducido el consumo de ácido sulfúrico de 20 a 2 kg/t mineral y se ha aumentado la producción de concentrados de uranio de 127 t U_3O_8 en 1976 a 210 t U_3O_8 en 1984.

Mención especial merecen los trabajos realizados y en curso para utilizar el ión férrico en la lixiviación, mejorando los rendimientos y disminuyendo drásticamente el consumo de ácido sulfúrico. Las piritas existentes en el mineral proporcionan sulfato ferroso, y mediante bacterias que se mantienen en las eras se provoca la oxidación del ión ferroso al férrico, que se aporta así a las soluciones lixiviantes.

También se están desarrollando otros trabajos y proyectos de particular interés: el estudio, en fase avanzada, de cambio del agente actual de reextracción (cloruro sódico) por sulfato amónico, para conseguir concentrados con menores contenidos de halógenos y reducir considerablemente las necesidades de neutralización con cal y de tratamiento con cloruro bórico de los líquidos residuales; la sustitución de la actual estufa de secado por un horno de solera múltiple, diseñado y en construcción por la JEN, con mayor capacidad y mejores características técnicas que la estufa; y la instalación de columnas de resinas de intercambio iónico para el tratamiento de las aguas pluviales y de manantiales recogidas en la explotación minera, con el objetivo de recuperar el uranio disuelto en ellas y dejarlas descontaminadas.

Estudio del nuevo proyecto de explotación para elevar la producción

Además de todos estos trabajos y proyectos dirigidos principalmente a la mejora de la explotación actual, se están desarrollando, en línea con lo establecido en el Plan Energético Nacional, los estudios técnico-económicos para determinar el proyecto óptimo de nueva planta de concentrados en la zona de Ciudad Rodrigo y la consiguiente expansión de la explotación minera, con el objetivo de aumentar la producción nacional a unas 1.000 t U_3O_8 /año a partir de 1991/92, cubriendo

At present, various research projects and studies are being carried out to continue improving the mining operation: an algorithm for calculating ore reserves on the basis of different cut-offs and depths, and optimizing the recovery of uranium and the economics of the operation; a system for the uranium ore radiometrical grading and weighing in the bucket loader, in collaboration with AITEMIN; and a system to record the gamma-ray data obtained in the pre-mining evaluation holes and blasting holes, in collaboration with DISEDA.

Ore Processing and Uranium Concentrate Production

The ore, crushed to below 50 mm, is processed by heap leaching. The ore bed is sprayed with a sulphuric acid solution that percolates through the ore and solves the uranium. The pregnant liquors, with an average concentration of 1 g U_3O_8/l , pass on to the solvent extraction stage, where they are treated in a four-step mixer-settler system with an organic solvent that recovers practically all the uranium. The charged amines are then treated in counter-flow by a stripping agent, obtaining an aqueous extract with a high uranium concentration (30 g U_3O_8/l) and very few impurities. The uranium concentrates are obtained in the form of ammonium diuranate by gaseous ammonia precipitation, filtration and drying.

The actual operating experience and the parallel on going work to improve efficiencies have led to the modification of some operational parameters, such as different reagent concentrations in leaching, distribution periods of spraying and maturing, utilization in increasing proportions of recycled acid-refined liquids instead of fresh leaching solutions, operating conditions in the extraction stage, etc. By these means the production capacity has been considerably increased and the reagent consumption decreased: the consumption of sulphuric acid has been reduced from 20 to 2 kg/t of ore, and the production of uranium concentrate has been increased from 127 t U_3O_8 in 1976 to 210 t U_3O_8 in 1984.

Of special interest is the work carried out and in progress to use the ferric ion for leaching, which improves the efficiencies and reduces drastically the consumption of sulphuric acid. The pyrites in the ore provide ferrous sulphate, and by means of bacteria kept in the ore heaps the ferrous ion is oxidized to ferric ion, which is thus added to the leaching solutions.

Other work and projects of particular interest are also being carried out: the study, in advanced stage, for changing the present stripping agent to ammonium sulphate, in order to achieve concentrates with lower halogen content and to reduce considerably the need for lime neutralization and for the treatment of the liquids with baric chloride; the substitution of the present drying heater by a multiple hearth furnace, designed and under construction by the JEN, with a larger capacity and better technical characteristics than the heater; and the installation of ion exchange columns for treating the rain and spring water collected in the mine, in order to recover the uranium solved in the water leave it decontaminated.

Study of the New Project to Increase the Production

In addition to all these work and projects directed mainly to improving the present operation, technical and economic studies are being performed, in line with the provisions of the «Plan Energético Nacional» (PEN, National Energy Plan), to determine the optimum project of a new mill and concentrate plant in the Ciudad Rodrigo area and the corresponding expansion of the mining operations, in order to increase domestic production to about 1,000 t U_3O_8 /year from

así las necesidades del programa nuclear determinado en el PEN.

Para estos estudios se utiliza como precedente el anterior Proyecto Quercus de planta convencional, que comprendía dos líneas de tratamiento, con capacidad cada una para 1.500 t mineral/día. El proceso previsto parte de la trituración del mineral, seguida de molienda húmeda; lixiviación del mineral molido con solución de ácido sulfúrico en tanques agitados, y separación sólido-líquido en espesadores; neutralización de los sólidos estériles y su confinamiento en un dique; y tratamiento de los líquidos fértiles por extracción con disolventes, reextracción, etc., análogamente al proceso seguido en la Planta Elefante.

En el proyecto en estudio (Proyecto Encinar) se prevé una sola línea análoga a las del Quercus, pero alimentada con mineral de ley superior conseguida por una preconcentración por cribado, que se viene experimentando con resultados muy alentadores. Hay buenas perspectivas de poder conseguir con el cribado una notable reducción en la cantidad de mineral a tratar, a base de separar para escombrera una proporción considerable de estéril y para eras de lixiviación otra parte de mineral marginal, con leyes del orden de 600 p.p.m. El mineral a tratar en la nueva planta convencional podría tener así una ley del orden de 1.500 p.p.m. El resultado conjunto que se persigue es el aumento específico de la producción con reducción de inversiones y costes.

EXPLOTACION MINERA DE DON BENITO

En julio de 1981 pasaron de la JEN a ENUSA las actividades del Plan Nacional de Exploración e Investigación de Uranio (PNEIU), entre las que se incluía la investigación del proceso de tratamiento de los minerales arcillosos de la zona de Don Benito (Badajoz) y la puesta en marcha de la planta experimental «Lobo-G», de la Haba, construida anteriormente por la JEN.

En esta planta, de avanzada tecnología y pequeña capacidad, se efectúa la separación granulométrica del mineral rico (>1.000 p.p.m.) en una fracción de gruesos, que junto con los marginales se tratan por lixiviación estática, y en una fracción de finos, que se tratan por lixiviación en tanques agitados, lavado de pulpas en ciclones y proceso de resina en pulpa (RIP), antes de incorporar los líquidos fértiles en la etapa de extracción con disolventes.

La planta experimental «Lobo-G» se puso en marcha en febrero de 1983, y se han venido experimentando e introduciendo técnicas y modificaciones para mejorar el proceso de tratamiento de estos minerales arcillosos: utilización de un trommel para la dosificación, con el que se obtiene una fracción gruesa casi exenta de elementos arcillosos y, por tanto, fácilmente lixiviable en eras; lixiviación estática por inundación en fosos impermeabilizados, lo que permite una sensible mejora en la recuperación de uranio y disminución del tiempo de tratamiento; aumento de superficie en el lavado de orgánica por incorporación de lamelas, etc. Así se ha conseguido aumentar la producción de 6 t U_3O_8 en 1983 a 15 en 1984 y se espera llegar a 25 t U_3O_8 en 1985, con sensible disminución en el consumo específico de reactivos y en los diversos coste unitarios de producción.

Los trabajos y estudios experimentales prosiguen, y en la actualidad se construyen cubículos de hormigón armado impermeabilizado para realizar la lixiviación por inundación de la fracción gruesa; se estudia la automatización de la planta y la mejora de las condiciones de lixiviación en tanques agitados; y se va a ensayar la aglomeración con yeso de los minerales marginales para mejorar las condiciones de su lixiviación estática. Todo ello con el continuado objetivo de mejorar la recuperación del uranio y reducir los costes de producción.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

En las actividades de minería y producción de uranio de ENUSA se vienen aplicando con éxito técnicas avanzadas de minería a cielo abierto y técnicas mineralúrgicas desarrolladas

(Pasa a la página 94)

1991/1992, which would cover the requirements of the Nuclear Program determined in the PEN.

For these studies use is made as a precedent of a previous design for a project (Proyecto Quercus) of a conventional plant, with two processing lines of 1,500 t ore/day capacity each. The process planned included ore crushing followed by wet grinding; leaching of the ground mineral with sulphuric acid in agitated tanks and solid-liquid separation in thickeners; neutralization of wastes and confinement in a dam; and processing of the pregnant liquors by solvent extraction, stripping, etc., similar to the process used in the Planta Elefante.

In the new project under study (Proyecto Encinar) a single line is planned similar to the Quercus lines, but fed with ore of a higher grade obtained by screening preconcentration, that has been experimented with very encouraging results. There are good prospects to achieve by screening a substantial reduction in the quantity of ore to be processed for a given production, separating from the ore a considerable proportion of waste to the dump and other proportion of marginal ore, of about 600 p.p.m. grade, for heap leaching. The ore processed in the new conventional plant could thus have a grade of about 1,500 p.p.m. The overall objective is the specific increase in production with a reduction in investments and costs.

EXPLOTACION MINERA DE DON BENITO

A part of the activities of the «Plan Nacional de Exploración e Investigación de Uranio» (PNEIU, National Uranium Exploration and Investigation Program), transferred from the JEN to ENUSA in July, 1981, included research on the processing of argillaceous ores from the Don Benito area (Badajoz) and the starting up of the experimental «Lobo-G» concentrate plant of La Haba, previously built by the JEN.

In this plant, of advanced technology and small capacity, the ore of over 1,000 p.p.m. grade is separated granulometrically into a coarse fraction, which together with the marginal ore is treated by heap leaching, and a fine fraction, which is treated by leaching in agitated tanks, pulp washing in cyclones and resin in pulp process (RIP), before incorporating the pregnant liquors in the solvent extraction stage.

The experimental «Lobo-G» plant was started up in February 1983 and a variety of techniques and modifications are being experimented and incorporated in the process to improve the treatment of these argillaceous ores: use of a trommel-drum for screening, giving a coarse fraction virtually free of argillaceous elements and, therefore, easily leachable in heaps; static leaching by flooding in impermeable pits, with a significant improvement in the uranium recovery and a reduction of the treatment time; increase of the organic decantation area by incorporating lamella, etc. The production has thus increased from 6 t U_3O_8 in 1983 to 15 t in 1984 and 25 t U_3O_8 expected for 1985, with a significant reduction in the specific reagent consumption and in the various unit production costs.

The experimental work and studies continue, and impermeable reinforced concrete cubicles are presently being built for the leaching by flooding of the coarse fraction; the plant automation and the improvement of the conditions of leaching in agitated tanks are under study; and sintering of the marginal ores with gypsum is going to be tested to improve the static leaching. All this with the objective of improving the uranium recovery efficiency and reducing the production costs.

SUMMARY AND CONCLUSIONS

In ENUSA's uranium mining and production activities a successful use is being made of advanced open pit mining techniques and of mineralurgical techniques developed by the

(See page 94)