



ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA Y  
COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA DE LA REPÚBLICA ARGENTINA

## CURSO REGIONAL DE CAPACITACIÓN EN LA PROSPECCIÓN DE URANIO

BUENOS AIRES, 8 de setiembre - 31 de octubre 1969

---

### V. EVALUACION Y CALCULO DE RESERVAS

1. EL ASPECTO ECONOMICO EN EL CALCULO  
DE RESERVAS; COSTOS MINEROS Y FABRILES,  
SU INFLUENCIA

Dr. FELIX RODRIGO

EL ASPECTO ECONOMICO EN EL CALCULO DE RESERVAS  
COSTOS MINEROS Y FABRILES, SU INFLUENCIA

FELIX RODRIGO  
Comisión Nacional de Energía Atómica

I. CONCEPTO DE YACIMIENTO

I.1. Yacimiento Geológico

Se puede definir un yacimiento geológico como una acumulación anormal de uranio en un emplazamiento determinado. El mismo constituye un fenómeno natural completamente independiente del criterio del hombre, singularizándose por su carácter absoluto y la ausencia de factores concretos que lo limiten en el espacio y en el tiempo. Un yacimiento geológico tiene vigencia independientemente del conocimiento físico de sus parámetros, leyes medias, monto de las reservas o consideraciones económicas.

Las dificultades del geólogo comienzan, justamente, cuando se quiere aprovechar de este fenómeno natural, constituyendo el primer obstáculo el de trazar los límites de la "concentración anormal".

Afortunadamente, tal como han sido definidos por los colegas que les expusieron tanto sobre yacimientos filonianos, como sobre los de control sedimentario, dichos límites frecuentemente se presentan en la naturaleza marcados por una disminución brutal en el tenor.

En la medida en que los trabajos de reconocimiento o exploración aumenten, se pondrá en evidencia una parte - o excepcionalmente, el total del "mineral geológico"-, pero su

estimación, forzosamente, deberá ligarse a criterios progresivamente influenciados por consideraciones económicas.

Si bien el concepto de "mineral geológico" en sentido estricto no está sujeto a consideraciones utilitarias, en la práctica se asocia el mismo con la posibilidad de un potencial uranífero, beneficiable con la tecnología actual, aunque sin limitación económica.

Como ejemplo se cita que Francia, a fin de uniformar la noción de "mineral geológico", procede a su contabilización, siempre que reúna las siguientes condiciones, [1]:

"mineral geológico":  $h \times \geq 0.25$

(h = espesor en m, x = tenor en ‰ U),

siempre que no se trate de pequeños yacimientos dispersos y que la formación responda a la siguiente doble condición:

1) tenor medio :  $x \geq 0.25 \text{ ‰ U}$

2) acumulación :  $hx \geq 0.25 \text{ m. ‰ U}$

En Argentina el concepto de "mineral geológico", se ha fijado en [2]:

$hx \geq 0.30 \text{ m. ‰ U}_3\text{O}_8$  .

aunque este mineral no figura en los cuadros de reservas, los que obedecen a limitaciones económicas estrictas.

## I.2. Yacimiento económico

La posibilidad de que una concentración de mineral de uranio se transforme en un yacimiento económico es función de:

- a) de la evolución de los parámetros reconocidos del yacimiento.
- b) de las fluctuaciones del valor comercial de los concentrados de uranio.

El valor económico de un yacimiento de uranio depende de las siguientes condiciones:

- del grado de reconocimiento extensivo (límite externo), el

que posibilita conocer su dimensión.

- del grado de seguridad en el conocimiento del sector explotado, que permite establecer el monto de las reservas factibles de beneficio inmediato.
- de las variaciones del costo de la explotación minera y el transporte a planta.
- id, del costo de tratamiento químico de sus minerales.
- del valor asignado al concentrado y de la fluctuación de la demanda del mercado.

### I.3. Tenor de explotabilidad

De lo expuesto precedentemente surge que la posibilidad de que un yacimiento pueda ser económicamente explotable puede variar con el tiempo; en función de hechos intrínsecos al mismo, como un aumento de las reservas o de los tenores medios o una mejor precisión en su conocimiento, o por factores externos: fluctuaciones de los costos de explotación minera o de tratamiento químico, o debido a un incremento del valor del concentrado.

Igualmente determinante puede ser el descubrimiento de otro yacimiento, en el área de influencia de la futura planta de tratamiento, si permite integrar el tonelaje mínimo para superar la capacidad crítica económica de la misma.

Para que un yacimiento sea considerado explotable en un momento determinado, el valor del concentrado que pueda proveer debe ser igual o superior a los gastos totales de explotación minera, transporte y tratamiento químico, incluido el costo de construcción de una planta de tratamiento, en el caso de que no se disponga de ella.

En general, el tenor de explotabilidad de un yacimiento (expresado en %  $U_3O_8$ ,) puede establecerse con la fórmula siguiente.

$$t_e = \frac{I + E + T + Q}{V.R.}; \text{ donde}$$

I = Inversiones relativas a la tonelada de mineral que aún resta realizar en el momento de tomar la decisión de explotar (exploración, infraestructura minera, instalación de la planta de tratamiento, etc).

Deberán agregarse las amortizaciones correspondientes.

E = Costo de la explotación minera, por tonelada.

T = Costo del transporte de mineral del yacimiento a la planta, por tonelada.

Q = Costo del tratamiento mecánico y químico, por tonelada.

V = Valor asignado al kilogramo de  $U_3O_8$  contenido en el concentrado comercial.

R = Rendimiento del  $U_3O_8$  recuperado del mineral. Para plantas convencionales el mismo fluctúa entre 90-92 %  $U_3O_8$ . En el proceso de lixiviación en pilas varía entre el 75 y 90 %.

#### I.4. Marginalismo y tenores de corte

Supongamos que una empresa ha construido un complejo mina-planta de tratamiento y que a posteriori se certifica que el tenor medio del yacimiento es inferior al previsto, incapaz de amortizar las inversiones de base y los gastos operativos que aún restan. Ante esta situación un empresario no experimentado podría verse tentado de abandonar la explotación, en cuyo caso todas las inversiones realizadas se convertirán en pérdida total.

Un análisis más apropiado, en cambio, podría establecer que si bien el mineral no puede compensar los gastos de amortización de las instalaciones, es en cambio capaz de justificar todos los gastos operativos que restan y aún provocar una pequeña ganancia que contribuiría en parte a compensar o disminuir la pérdida de la inversión original.

Aunque expresada con demasiada simpleza, tal es la base de la doctrina del marginalismo, la que puede resumirse diciendo que: toda tonelada de mineral que sea capaz de

pagar sus gastos futuros, debe ser explotada o beneficiada.

Si bien la formulación del principio es sencilla, existen numerosos factores de interferencia en la estimación de gastos futuros, los que pueden complicar dicho esquema. Entre ellos, incide la posibilidad de un gran aporte de "mineral marginal", el que podría prolongar la vida útil de la planta o de toda una División Minera, modificando la relación de gastos generales. En igual forma, si la capacidad de tratamiento de la planta no se encontrase saturada, el "mineral marginal" provocaría una disminución de los gastos fijos unitarios.

Es comprensible, aún en el caso de un complejo fabril ganancial, que de existir capacidad marginal de tratamiento resulta interesante explotar tonelajes adicionales de mineral más pobre, que no participe de las amortizaciones ni de los gastos fijos, los que darían un beneficio marginal.

Estas observaciones señalan la necesidad de que tanto en las estimaciones de reservas de un yacimiento, como en cada una de las etapas de operación o producción, las previsiones de mineral económico, sean formaciones, paños, vagonetas, camiones o cualquier unidad identificable, deben realizarse a tenores capaces de pagar sus gastos futuros, o de dar un beneficio marginal.

#### I.4.a. Tenor de corte de fondo

El tenor de corte de fondo, expresa la idea de que só lo debe explotarse un paño, sector, pilar, etc, si cada tonelada de mineral es capaz de pagar sus gastos futuros. Se calcula con la fórmula [1]:

$$t_{cf} = \frac{E + T + Q}{V.R.}, \text{ donde}$$

E = Costo por tonelada de los trabajos que aún resta realizar para sacar el mineral a la superficie.

T = Id. transporte a planta.

Q = Id. tratamiento en planta.

V = Valor del kilogramo de  $U_3O_8$  en el concentrado comercial.

R = Rendimiento de recuperación del  $U_3O_8$ .

No se consideran los gastos fijos, los que de cualquier forma se realizarían y están ya previstos en el esquema económico integral.

La selección en mina de los sectores que poseen tal tenor, debe realizarse sobre la base de una zoneografía adecuada.

#### I.4.b. Tenor de corte superficie

Una vez arrancado y sacado a superficie el mineral o aún en el interior de mina, puede realizarse una clasificación del mismo, mediante la utilización de túneles de mediciones radimétricas u otro instrumental adecuado, que permitirá rechazar una cantidad de vagonetas o skips de material pobre, variable en función de la naturaleza más o menos contrastada de los tenores del yacimiento. Ello abre la posibilidad de fijación de otro tenor de corte, a fin de seleccionar solamente las unidades de mineral, capaces de pagar los gastos futuros de transporte a planta y de tratamiento.

El tenor de corte superficie se calcula con la fórmula:

$$t_{cs} = \frac{T + Q}{V.R}$$

Los símbolos tienen la misma significación que en la fórmula anterior.

En condiciones especiales, pueden aplicarse otros tenores de corte, tanto en distintas etapas de la explotación minera, como en las operaciones en planta, en la que por ejemplo, luego de la trituración primaria es factible rechazar-sobre banda transportadora-, las fracciones cuyo tenor sea insuficiente para pagar los gastos proporcionales de tra

tamiento químico.

El problema resulta más complejo cuando la mena está constituida por uranio y otro metal acompañante, factible de beneficio económico.

Tal es el caso de la Mina "Huemul" (Mendoza), cuyo mineral contiene 1,80 % de  $U_3O_8$  y 9% de Cu. Los distintos tenores de corte se fijan sobre la base de rectas equigananciales asignando valor cero al  $U_3O_8$  sobre las ordenadas (mineral exclusivamente con cobre) y 100% sobre las abcisas (mineral de uranio) y a la inversa para el cobre. Todos los valores compuestos ( $U_3O_8 + Cu$ ) que se sitúan en la recta o por arriba de ellas son gananciales (Fig. 1).

## II. CLASIFICACIÓN DE LOS RECURSOS URANIFEROS

### II.1. Antecedentes

Hasta el año 1960, prevaleció el criterio de clasificar los recursos uraníferos mediante la aplicación de los conceptos clásicos de mineral "medido", "indicado" e "inferido", basado en la cantidad de caras conocidas o impactos de sondeos en cada bloque y en los parámetros de superficies, espesores y tenores medios, etc. Los valores así alcanzados no podían reflejar, salvo muy groseramente, una idea del coeficiente de error de estimación para cada categoría.

A ello se agregaba los límites arbitrarios y heterogéneos de los tenores adoptados por cada país para expresar el monto de sus reservas. Así, para E.U.A. era de más de 2%  $U_3O_8$  para Francia de 1.3 % para Japón de 0,5 %  $U_3O_8$ , etc. [3].

Si bien, en general, cada país adoptaba un tenor límite para la estimación de las reservas o recursos, para expresar el potencial, en cambio, no existía ningún tipo de limitación.

### II.2. Conceptos que rigen la clasificación de los recursos a partir de 1960.

Con motivo de la realización de las "Sesiones Científicas sobre Recursos y Posibilidades Uraníferas", cumplidas en Buenos Aires en 1960 [3], los expertos de los principales países productores y consumidores del mundo, se ocuparon del tema en cuestión, e hicieron primar otros factores, basados esencialmente en el aspecto económico.

En dicha reunión, a la que asistieron técnicos de Canadá, Sud Africa, E.U.A., Francia, Australia, Reino Unido, Portugal, España, Alemania, Italia, México, Brasil, Argentina etc, se resolvió independizar el tenor de uranio de los minerales del concepto de reservas y recursos, clasificándose a estos de acuerdo con el costo a que puede obtenerse el "yellow-cake" (concentrado de uranio, constituido por una mezcla de óxidos, en general de color amarillo.):

- A. Reservas: Categoría que incluye a los minerales a partir de los cuales el uranio puede ser extraído a precios que no exceden los U\$S 8-10/lb  $U_3O_8$ .
- B. Potencial: Categoría que comprende dos conceptos:
  - a) minerales de yacimientos conocidos, capaces de brindar "yellow cake" a costos superiores a U\$S 10/lb  $U_3O_8$ .
  - b) minerales que se estima encontrar, en base al conocimiento geológico, de los cuales podría extraerse el uranio a costos inferiores a U\$S 8-10/lb  $U_3O_8$ .

Dentro de las reservas se incluirían aquellos valores citados como mineral "medido", "indicado" e "inferido".

Estas ideas, aún no bien definidas en esa época, fueron incorporadas por varios países, con algunas diferencias respecto a la cantidad y categorías de costos del uranio recuperable y a la clasificación de los recursos.

Una mayor uniformidad se logró en la Conferencia de Ginebra de 1964, en cuyas sesiones sobre materias primas nucleares, los recursos uraníferos se agruparon en distintos

rangos, según los costos de elaboración final del "yellow cake" prevaleciendo los siguientes valores:

- 1) entre U\$S 5 y 10 / lb  $U_3O_8$
- 2) entre U\$S 10 y 30 / lb  $U_3O_8$
- 3) entre U\$S 30 y 50 / lb  $U_3O_8$
- 4) entre U\$S 50 y 100/ lb  $U_3O_8$
- 5) entre U\$S 100 y 500/ lb  $U_3O_8$

En lo que se refiere al grado de seguridad que se alcanza en la evaluación de las reservas, se comenzó a aceptar la idea de reconocer dos categorías principales [4], [5]:

- a) "Recursos razonablemente asegurados"
- b) "Recursos adicionales posibles"

En Agosto de 1965, la Organización para Cooperación Económica y Desarrollo (OECD), por medio del Organismo Europeo de Energía Nuclear (ENEA), publicó un informe especial sobre los "Recursos en Uranio y Torio del Mundo", cuya preparación encargó a los principales expertos de Canadá, Reino Unido, E.U.A., Francia, España y Suecia [6].

En el mencionado informe se aceptan los siguientes rangos de precios para los recursos uraníferos:

- 1) entre U\$S 5 y 10/ lb  $U_3O_8$
- 2) entre U\$S 10 y 15/lb  $U_3O_8$
- 3) entre U\$S 15 y 20/lb  $U_3O_8$

Para las categorías de los recursos, el informe de ENEA sigue los conceptos señalados en la conferencia de Ginebra, definiendo dichas categorías, las que se caracterizarían así:

- a) Recursos razonablemente asegurados

Se comprenden aquellos minerales contenidos en depó-

sitos ya conocidos, con tales leyes, cantidades y morfología que pueden ser dentro de cada uno de los rangos de precios citados-, extraídos de los mismos y procesados, según los métodos mineros y tecnologías actualmente disponibles. Las estimaciones sobre tonelajes y tenores se basan sobre muestreos específicos, medida de los depósitos y conocimiento del hábito de los mismos. Esta categoría puede ser considerada como groseramente equivalente de las "Reservas minerales" en el sentido usual, particularmente para la escala de precios inferiores (US\$ 5-10 y 10-15 / lb  $U_3O_8$ ).

b) Recursos adicionales posibles

Se refiere a minerales cuya presencia se presupone en partes no explotadas en depósitos ya conocidos o en yacimientos aún no desarrollados o descubiertos en distritos uraníferos existentes o en áreas de similares condiciones favorables, en los cuales se estima que pueden ser descubiertos, explotados y concentrados a los rangos de precios citados. La estimación de tonelaje y leyes de esta categoría, en distritos uraníferos existentes, se basa primordialmente en el conocimiento de los depósitos ya descubiertos en los mismos. La presencia y tamaño de yacimientos en áreas inexploradas de interés específico, se infiere sobre la base de la comparación con la distribución de los recursos en áreas conocidas, con características geológicas semejantes.

En general, la seguridad de las estimaciones de los recursos decrece hacia las categorías de precios más altos, si bien se acepta que hay una tendencia a subestimar los recursos en dichos rangos, especialmente cuando los datos disponibles no son suficientes.

Dicha clasificación de los recursos se ha extendido rápidamente en su empleo, a través de sucesivas actualizaciones de los informes de E.N.E.A., sobre la estimación de los

recursos uraníferos del mundo occidental [7], [8].

Los rangos de precios han seguido la misma evolución, adoptando en general todos los países, inclusive la Argentina, la escala actual de ENEA, con las siguientes categorías [9]:

- |          |      |  |
|----------|------|--|
| 1) entre | U\$S | 5 y 10 / lb U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>  |
| 2) entre | U\$S | 10 y 15 / lb U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> |
| 3) entre | U\$S | 15 y 30 / lb U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> |

### II.3. Categorías de los recursos según el uso de la información.

La utilización de las cifras de los montos de los recursos uraníferos puede hacerse con dos finalidades:

#### 1. Para Programaciones

Para apoyar anteproyectos y proyectos generales y particulares de desarrollo energético nuclear, a corto y mediano término.

#### 2. Para Realizaciones

Para apoyar realizaciones fabriles e industriales inmediatas.

Para programaciones, puede seguirse la línea conceptual correspondiente a la categoría de "Recursos razonablemente asegurados".

Para realizaciones, en cambio, cuando se hace necesario sostener y apoyar un proyecto fabril e industrial inmediato, - por ejemplo la construcción de una planta de procesamiento de minerales, la elección de su emplazamiento, etc-, es imprescindible conocer con la mayor exactitud posible el volumen de las reservas de los yacimientos que suministrarán la materia prima, cifrando, si es posible el grado de error en la estimación de las mismas.

En tal sentido, como se indicó, las categorías clásicas de mineral "medido", "indicado" e "inferido", van perdiendo actualidad para los minerales de uranio, ya que en las mis

mas no puede cifrarse numericamente el error de estimación.

#### II.4. Categorías de los recursos con aplicación de cálculo estadístico.

Para solucionar el problema citado, varios países, en especial Francia y Rusia, desarrollaron en los últimos años métodos de cálculo estadístico para la estimación de reservas, los que tienen inmediata y total aplicación para los minerales de uranio, debido a los tenores relativamente bajos de este elemento.

La aplicación del método a los minerales de uranio - derivado de estudios fundamentales de geoestadística, desarrollados por Matheron-, se debe a A. Carlier, del Commissariat a l'Energie Atomique de Francia, quien establece las siguientes categorías [1]:

- a) Reservas. Para cuerpos mineralizados puestos en evidencia por labores mineras y/o sondeos con recuperación de testigos, con tenores químicos o derivados de una recta de correspondencia  $Ra/t$ . Al nivel de probabilidad del 68%, la varianza de estimación debe ser menor del 50%, lo que significa que existen 2 probabilidades sobre 3 de tener la cantidad de mineral y metal, dados por los valores límite del cálculo.
- b) Recursos. Para cuerpos puestos en evidencia con trabajos mineros menos precisos o con sondeos con insuficiente recuperación de testigos, fijándose los tenores con radiactividad gamma, sin disponer de una recta de correspondencia  $ra/t$  solidamente establecida. No es posible calcular la precisión y el error de estimación es superior a 50%.
- c) Perspectivas: Se aplica en extrapolaciones hacia profundidad y esta categoría queda definida por consideraciones principalmente geológicas, admitiéndose un error de hasta el 100%. Los tonelajes asignados a esta categoría deben

ser confirmados con programas orgánicos de exploración física.

## II.5. Clasificación de las reservas según el grado de desarrollo

Para cada una de las categorías de las reservas, se debe establecer aún una minuciosa elaboración, a fin de calcular el mineral que está realmente en condiciones de ser entregado a planta, de acuerdo con las etapas de desarrollo minero, las características intrínsecas del yacimiento y consideraciones técnico-económicas, referidas a su explotación. En Argentina, siguiendo el sistema en uso en el CEA de Francia, se establecen las siguientes categorías:

- a) Mineral "geológico": Con la limitación indicada en el capítulo anterior ( $hx \geq 0,30 \text{ m } \% \text{ U}_3\text{O}_8$ ). Corresponde a mineral sin significación económica.
- b) Mineral "económico" o "in situ" : Se estima con el espesor reajustado al ancho mínimo compatible con el método de explotación adoptado, y tenor medio para cada paño o unidad de explotación igual o superior al  $t_{cf}$ , establecido como se indicó en el capítulo anterior. Los límites reales del cuerpo mineralizado se establecen con una zoneografía adecuada, en función de  $hx$ .
- c) Mineral "a extraer". Reajuste del mineral "económico" debido a características intrínsecas del yacimiento, tales como sectores pobres dentro de cada paño o escasa competencia de las "cajas", que se traducen en pérdidas de  $\text{U}_3\text{O}_8$  y agregado de material estéril, que provocan una dilución de la mena durante la explotación, según porcentajes indicados por la experiencia o grado de reconocimiento del yacimiento, los que deben reajustarse a medida que avanza su desarrollo. Si la dilución lleva la ley por debajo del  $t_{cf}$  en un paño o unidad determinada, deberá desecharse el mismo. De haberse realizado ya los trabajos de preparación minera, podrá aplicarse tenores de "corte-paño" o "corte-pilar", inferiores al  $t_{cf}$ .
- d) Mineral "a entregar" o "a tratar": Su estimación puede realizarse tanto teóricamente, en función del contraste de tenores del paño y la relación tenor medio del paño/tenor de "corte superficie", mediante aplicación del Abaco de Formery / 1 /; como expe-

rimentalmente, mediante la utilización de túneles de mediciones radimétricas en boca-mina.

El corte en superficie provoca, generalmente, pérdidas de  $U_3O_8$  (0,3 al 3%) y de mineral bruto (5 al 10%), pero favorece como resultante la ley media del mineral "a entregar".

### III. DECISION SOBRE LA INSTALACION DE UN COMPLEJO FABRIL MINA-PLANTA

La decisión de la instalación de una planta de tratamiento de mineral de uranio, para la obtención de concentrados comerciales, debe apoyarse fundamentalmente en:

- a) volumen de las reservas disponibles
- b) necesidades o requerimientos de producción.
- c) valor fijado para el concentrado comercial.

Para que el esquema de producción resulte económico, el valor del concentrado a producir debe ser igual o mayor a la suma de los gastos de instalaciones y explotación minera, del transporte del mineral a la planta, de la construcción de la planta (si aún no se dispone de ella), del costo del tratamiento del mineral y de los gastos de financiación de todo el conjunto [10].

Dicha relación -reducida a la unidad-, se expresa por la fórmula siguiente:

$$V \geq \frac{E + T + P + Q + CF}{t_e \cdot R}, \text{ en donde}$$

V = valor asignado al kilogramo de  $U_3O_8$  contenido en los concentrados comerciales.

E = costo por tonelada de la explotación minera, incluyendo los gastos operativos y amortización de las instalaciones.

T = costo/t del transporte del mineral a la planta.

P = Costo por tonelada de mineral, en concepto de instalación (amortización) de la planta de tratamiento.

Q = Costo/t de mineral, del tratamiento físico y/o químico.

CF= Cargas financieras y/o margen ganancial, por t de mineral.

$t_e$  = tenor de explotabilidad del yacimiento, expresado en % de  $U_3O_8$ .

R = coeficiente que representa el porcentaje de  $U_3O_8$  recuperado en el tratamiento químico. Para una planta convencional es del orden de 0,90.

Si bien la adopción de un valor artificial del  $U_3O_8$  podría en apariencia tornar económica la explotación de cualquier yacimiento, el hecho de existir ya un mercado mundial del uranio, con limitaciones actuales de costos del orden de 8 a 10 U\$S/lb  $U_3O_8$ , condicionan en la práctica una capacidad económica mínima de las instalaciones.

Actualmente se acepta que para que una planta sea económica, debe tener una capacidad mínima de producción de 150 t  $U_3O_8$ /año, en forma de concentrados comerciales (equivalente al tratamiento de 150.000 t de mineral de ley 1,1 %  $U_3O_8$  por año, o sea unas 500 t/día).

La instalación de plantas de menor capacidad, como las de Andujar(España), de 200 t/día o la de Malargüe (Argentina), de 120 t/día, pueden estar condicionadas por la intervención de otros factores, sea la necesidad de adquisición de experiencia previa o la disponibilidad de un mineral complejo, con otros elementos recuperables, que benefician el balance económico del proceso. El mineral de Mina "Huemul", por ejemplo, que abastece a Planta Malargüe, posee 1,80 % de  $U_3O_8$  y 8,5% Cu.

Considerando el tipo de instalaciones y equipamiento, la vida útil que deriva de los mismos y el costo de construcción de una planta de tratamiento de minerales, se fija habitualmente en diez años su período de funcionamiento y amortización, por lo que el yacimiento que debe proveer la materia prima, debería tener una reserva mínima del orden de 1.500.000 de toneladas de mineral (con ley mínima del orden del 1% de  $U_3O_8$ ).

Como es lógico suponer, a medida que aumenta la magnitud de las reservas de mineral del yacimiento y la correspondiente capacidad de tratamiento de la planta, se produce una progresiva disminución en los costos unitarios de producción. De la fórmula citada se desprende, igualmente, el inmediato beneficio que puede derivarse de un incremento en el tenor de alimentación, ya que los gastos operativos son groseramente proporcionales al tonelaje bruto.

En cada caso corresponde, pues, determinar la relación óptima tonelaje de mineral a tratar versus cantidad de  $U_3O_8$  a recuperar, a fin de seleccionar el tenor medio que mejor favorezca el balance económico.

### III.1. EXPLOTACION MINERA

#### III.1.a. Características del yacimiento. Reservas mínimas.

Si bien en las etapas de estudio de factibilidad, pueden aceptarse las cifras de recursos uraníferos razonablemente asegurados; para plantear los esquemas técnico-económico-financieros relativos a la instalación de un complejo mina-planta de producción y decidir sobre su ejecución, deberá apoyarse sobre hechos convenientemente certificados [9].

En tal sentido solamente deberán aceptarse como reservas válidas, aquellas que corresponden a cuerpos mineralizados reconocidos con una malla suficientemente densa de trabajos mineros o sondeos con recuperación de testigos. La precisión de su conocimiento debe ser tal, que el valor de la varianza de estimación ( $\sigma_E$ ) debe ser menor del 50%.

En el momento de adoptar la decisión de la explotación, deben ser igualmente perfectamente conocidas las características intrínsecas del mineral: tenores medios, densidad, composición física, química, mineralógica, etc, las que definen las condiciones de tratamiento.

Igualmente indispensable es el conocimiento de otros parámetros del yacimiento: hábito de los cuerpos mineralizados, morfología y frecuencia de los mismos, grado de competencia de

la mena y de las cajas, etc, los que definen el método de explotación y regularán los porcentajes de "dilución" y "pérdidas" de mineral bruto y de  $U_3O_8$  contenido, en las etapas de producción minera.

La dilución incidirá en la ley media final del mineral a abastecer a planta y las pérdidas en el volumen neto del material producido, factores que deberán tenerse en cuenta para fijar el dimensionamiento de las instalaciones de la mina y de la planta.

Ambos factores pueden ser controlados, tanto experimentalmente en ensayos previos de explotación minera, como teóricamente, mediante aplicación del cálculo estadístico a la estimación de reservas (abaco Formery) [17].

Una vez explorado un yacimiento, los tonelajes de mineral y de  $U_3O_8$  contenido a beneficiar, resultan función de los tenores de corte que se establezcan, por lo que deberá elaborarse y seleccionarse la variable adecuada, de acuerdo a la política que puede regir el esquema. La misma podría fluctuar entre una estricta limitación económica o la mayor recuperación posible del uranio contenido en el depósito, aún a costos superiores.

### III.1.b. Concurrencia de varios yacimientos

Merece una consideración especial la posibilidad de abastecimiento a una planta, con varios yacimientos o unidades de producción independientes, por las implicaciones que el hecho puede representar para la operación de la misma.

Especialmente para los yacimientos sujetos a control sedimentario, son frecuentes las fuertes variaciones de la mena, tanto en la composición y características físico-mecánicas del material de soporte, como de la mineralización uranífera misma.

En el Valle del Tonco (Distrito La Poma- San Carlos, Salta, Argentina), por ejemplo, se están explorando en la misma formación geológica del orden de diez yacimientos de uranio, en

los que la mineralización encaja en areniscas, lutitas, calcáreos arenosos o la mezcla de ambos. En un yacimiento ("Don Otto") el contenido en cemento calcáreo (2 a 4 % de  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ), favorece un tratamiento ácido, en otros ("Los Berthos"), en cambio, el aumento de éste (hasta 20% o más) condicionará una lixiviación alcalina. De norte a sur se ha documentado, asimismo, una fuerte variación en la relación uranio/vanadio (de 1/4 hasta 1/1). Finalmente, hasta 100 m de profundidad, se encuentran solamente minerales amarillos de uranio (tyuyamunita y carnotita); a los que suceden en profundidad otra faja de 50 a 100 m de desarrollo, con mezcla de minerales amarillos y negros (uraninita), previéndose que a mayor profundidad predominará exclusivamente esta última. [11].

Similares variaciones composicionales se observan en los dos sectores que integran la Mina "Huemul" (Mendoza, Argentina): Agua Botada y Huemul. Las diferencias más remarcables resultan las de la competencia de la roca (lo que incide en el proceso de trituración y molienda del mineral); en el contenido de cemento calcáreo: 10 y 3 % de  $\text{CO}_3\text{Ca}$ , respectivamente (incidencia en el consumo de ácido sulfúrico); y en el cobre acompañante: 5 y 21% Cu, respectivamente (incidencia en el valor de la mena); que obliga a establecer tenores de corte diferenciales, para el mineral económico.

Se destaca así la necesidad de conocer previamente la composición de cada una de las unidades que integran el abastecimiento de mineral a una planta determinada, ya que ello condicionará que se diseñe la misma con una adecuada versatilidad para el tratamiento de menas heterogéneas o que se opte por un "blending" regular del material de los diferentes yacimientos, si tal posibilidad resulta económicamente más conveniente.

### III.1.c. Costo de la producción minera

Los costos de la producción minera son función de la complejidad del yacimiento, del volumen de las reservas y del método de explotación seleccionado.

Los mismos se integran con:

- a) Gastos fijos (mano de obra permanente, mantenimiento de instalaciones, administración, etc).
- b) Gastos de los Servicios Técnicos (talleres, laboratorios, transportes).
- c) Gastos proporcionales (extracción, ventilación, desagote).
- d) Amortizaciones y/o cargas financieras.

Una fluctuación del volumen de la producción provoca grandes variaciones en los valores unitarios de a), menores en b) y d) y escasa o nula incidencia en c).

#### III.1.d. Transporte del mineral

Si bien se ha individualizado este ítem en la fórmula general que permite establecer la economicidad del esquema complejo mina-planta, su incidencia resulta simple, ya que no está sujeto a tantos factores condicionantes como los de la explotación minera.

No obstante, debe tenerse presente que la incidencia del costo del transporte- la que puede ser despreciable para el caso de minerales de alta ley-, puede llegar a ser determinante para los de baja ley, por su repercusión sobre cada kilogramo (o libra) de  $U_3O_8$  recuperado.

Surge pues la conveniencia de conocer con la máxima precisión posible los costos de transporte, ya que los mismos influyen en el esquema económico y participan en la determinación de tenores de corte de diferentes etapas del proceso.

#### III.2. TRATAMIENTO DEL MINERAL

##### III.2.a. Construcción de la Planta, Capacidad, inversiones

El costo de construcción de una planta de mineral de uranio, depende esencialmente de la capacidad de tonelaje a

tratar en una unidad de tiempo determinada.

Resulta, en efecto, la capacidad asignada a la planta en función de las reservas del yacimiento que abastecerá el mineral, la que condicionará la dimensión de los principales equipos: trituración, molienda, lixiviación, decantadores, filtros, etc y estos a su vez la amplitud de las construcciones civiles, consumo de energía, etc.

Al factor principal señalado, se añaden los derivados de las características intrínsecas del mineral a tratar; especialmente el tenor medio del mineral (el que incidirá en el dimensionamiento de algunos sectores (resinas o solventes, etc); la naturaleza de cemento de la roca (línea de lixiviación ácida o alcalina); grado de compactación o dureza (preparación del mineral: trituración, molienda, etc); etc.

Deben analizarse y valorizarse, igualmente, las condiciones geográficas del lugar del emplazamiento de la planta ( en sus variantes posibles); las condiciones de abastecimiento de los servicios esenciales y de los materiales de consumo; de las comunicaciones; de las facilidades de vivienda para el personal, etc, todos los cuales incidirán, en mayor o menor grado, en el balance económico integral.

En efecto, el costo definitivo de instalación de la planta, resultará de la comprobación experimental y/o valoración de la totalidad de los aspectos señalados y de sus mutuas interrelaciones.

En términos generales, sin embargo, al solo efecto de plantear las etapas preliminares del estudio económico, pueden adoptarse los valores medios resultantes de la instalación de varias plantas en diversos países del mundo. Para instalaciones de capacidades del orden de 300 a 500 t de mineral / día, los costos son del orden de U\$S 10.000 por tonelada/día de capacidad de tratamiento.

A medida que se aumenta la capacidad de la planta, se reducen progresivamente los costos unitarios de construcción, señalando la experiencia francesa que, para plantas convencionales, hasta magnitudes de 2.000 a 3.000 t/día, se duplican los costos globales cada vez que se triplica la capacidad de la instalación.

En E.U.A. los costos fluctúan entre unos U\$S 3.000/t/d para una planta de 1000 t/d. hasta U\$S 4.000 t/d para una planta de 6.000 t/d.

### III.2.b. Costos operativos del tratamiento de mineral

Corresponde la misma composición citada para los costos de explotación minera:

- Gastos fijos
- Gastos de los Servicios Técnicos
- Gastos Proporcionales.
- Amortizaciones y/o cargas Financieras.

Caben, igualmente, las consideraciones hechas referentes al transporte del mineral. Una variación del tenor de alimentación provocará fuertes cambios en el costo unitario de elaboración.

La incidencia del tenor del mineral en el costo del tratamiento se calcula con la fórmula:

$$C_t = a + b \cdot t + \frac{G.F + A + CF}{T}, \text{ donde}$$

$C_t$  = costo de tratamiento a un tenor determinado.

$a$  = gastos proporcionales a la tonelada de mineral tratado.

$b$  = gastos proporcionales al kilogramo de  $U_3O_8$  contenido en el mineral.

$G.F$  = gastos fijos anuales (incluyen los correspondientes a los Servicios Técnicos)

$A$  = amortizaciones (total anual)

$CF$  = cargas financieras anuales.

T = toneladas tratadas por año.

### III.2.b.i. Gastos fijos

Se desprende de la fórmula anterior la importancia que tiene el tonelaje tratado anualmente, en la incidencia sobre los costos de producción, los que serán inmediatamente beneficiados con un incremento de T.

En toda planta de tratamiento, deben individualizarse las erogaciones fijas, las que corresponden principalmente al plantel de personal permanente, mantenimiento de las instalaciones, una parte de los Servicios Técnicos (talleres, laboratorios, transportes), cargas financieras, beneficios contractuales, etc.

Dichos gastos se consideran en general relacionados con la capacidad nominal de la planta y no con la cantidad de mineral tratado.

Siendo necesario valorizar los mismos, al decidir sobre la instalación de un complejo fabril y a título meramente ilustrativo, se menciona que el CEA de Francia [10], considera que, independientemente de la capacidad de una planta, se originan gastos fijos del orden de U\$S 25.000/año (equivalente a m\$N 87.500.000/año), a los que debe añadirse otros U\$S 8.000 (m\$N. 28.000.000/año), por cada 50.000 toneladas subsiguientes de capacidad anual (Experiencia de las Plantas de Bessines y l'Ecarpière).

### III.2.b.ii. Gastos Proporcionales

Son las erogaciones provocadas por la operación normal de la planta y corresponden estrictamente a los consumos de reactivos y productos químicos, energía, servicios y mano de obra eventual, directamente proporcionales a las cantidades de mineral tratado.

Pueden dividirse en gastos proporcionales al tonelaje tratado (independientes de la ley del mineral), y proporciona-

les al kilogramo de  $U_3O_8$  contenido.

Su determinación y/o estimación previa, en la forma más aproximada posible, es indispensable para la formulación del balance técnico-económico para tomar la decisión de la instalación de una planta de tratamiento y sus valores unitarios, son necesarios para el cálculo de los diferentes tenores de corte, en cada una de las etapas de producción.

#### IV. NUEVAS POSIBILIDADES DE APROVECHAMIENTO ECONOMICO DE YACIMIENTOS DE URANIO.

Como se ha citado en el curso de estas conferencias, en general, todas las estimaciones coinciden en que a partir de 1980, en que tanto las reservas de uranio beneficiables por métodos convencionales a menos de U\$S 10/lb  $U_3O_8$ , como la capacidad de producción de las plantas actualmente instaladas, serán insuficientes para abastecer la demanda creciente del mercado.

Todo ello ha motivado que casi todos los países con potencial uranífero, inicien intensos programas de investigación, orientados a aprovechar económicamente yacimientos con minerales de baja ley, o a la aplicación de innovaciones tecnológicas que posibiliten el beneficio de depósitos actualmente marginales [12], [13].

Hasta hace poco, a pesar de la gran cantidad de estéril o ganga que acompaña a los minerales de uranio (99,7 a 99,9 %), en general, no se utilizaba ningún proceso de preconcentración física, previo al tratamiento químico.

Dicha circunstancia condicionaba un dimensionamiento exagerado de las instalaciones de planta, especialmente de las unidades de lixiviación, con la consiguiente excesiva consumición de agentes lixiviantes, los que pueden llegar a representar del 30 al 50% de los costos operativos directos.

La distribución porcentual de los costos directos de

tratamiento y extracción de uranio, para plantas de 1000 a 3000 t/día de capacidad, es la siguiente [12]:

CONCEPTO	AUSTRALIA	USA	CANADA
Trituración y molienda %	12	11	19
Lixiviación y neutralización %	54	43	48
Separación sólido-líquido %	6	6	7
Extracción y purificación %	9	8	8
Precipitación, secado y envase %	12	9	3
Gastos Generales %	7	23	15

Es indudable que las mejores posibilidades de disminuir costos son las de preconcentración ("up grading") del mineral y desde luego el proceso de lixiviación mismo.

Entre las técnicas de preconcentración física hemos mencionado ya la de clasificación radimétrica del mineral, la que puede aplicarse en diversas etapas de manipulación del mismo, hasta tanto la progresiva homogeneización del material no provoque un excesivo rechazo del  $U_3O_8$  contenido. En algunas plantas se la utiliza a la salida de la trituración primaria, o aún de la secundaria, con fragmentos de hasta 3/4" Ø, pero se continúan desarrollando equipos multicanales, más sensibles y de respuesta más rápida, que serán capaces de rechazar más del 50% del material en consideración.

Otras investigaciones están orientadas a la aplicación de conductimetría, sistemas de detección óptica o de separación magnética, a los que se añade la posibilidad de utilización de técnicas tradicionales de flotación o de separación hidráulica, capaces de provocar una concentración del mineral de uranio o contribuir o modificar la composición del mismo (eliminación de carbonato de calcio, por ejemplo) con la correspondiente repercusión sobre la línea de tratamiento químico (lixiviación ácida

o alcalina [14].

Los avances más significativos, sin embargo, se han obtenido hasta el presente en el desarrollo de técnicas no convencionales de lixiviación [15], [16].

Practicamente desde el comienzo de la era nuclear, el interés de aprovechar minerales marginales de baja ley, sea de rechazos de elaboración o de yacimientos con tenores no económicos o con volúmenes de reservas insuficientes para justificar la instalación de plantas convencionales, obligó a investigar el desarrollo de técnicas más sencillas y económicas de beneficio.

Varios países: Francia, Argentina, Estados Unidos, España, Portugal, Inglaterra, Rusia, etc, orientaron las mismas, hacia la lixiviación del mineral en el lugar mismo del yacimiento, "in situ", en escombreras o en pilas, mediante el simple uso de agua (cuando las menas contenían sulfuros oxidables) o con agregado de ácidos, álcalis, sales oxidantes o bacterias.

Todos ellos se basan en la eliminación total o parcial de las costosas etapas de preparación del mineral (explotación minera, trituración, molienda, etc) y en el tratamiento del mismo en condiciones muy selectivas para la recuperación del uranio, tendientes a reducir el consumo de reactivos por tonelada de material, especialmente en la etapa de lixiviación.

Los reactivos extractantes, cuyas características y cantidades dependen de la composición físico-química del mineral, pueden ser simplemente agua, en presencia de piritas o sales férricas en la mena o soluciones ácidas (ácido sulfúrico) o alcalinas (carbonato de sodio), con agregado de agentes oxidantes o floculantes, si es necesario.

La presencia de bacterias, ferrobacillus y thiobacillus, ha demostrado ser de gran importancia en estos procesos

y las técnicas de su empleo se están desarrollando en forma creciente. Su acción provoca la oxidación del azufre, el que puede ser transformado en ácido sulfúrico y el paso de sulfato ferroso a sulfato férrico, que favorece la lixiviación del uranio. Otras bacterias, de los géneros Galionella, Clonothrix y Leptothrix, transforman el óxido ferroso en férrico en un medio alcalino.

Este método, el que en esencia consiste en un lavado progresivo del mineral por el pasaje repetido de la solución lixivante, ofrece variantes que dependen de que se trate de material ya extraído o "in situ", de la geometría de sus acumulaciones, de la propiedad del mineral, de la presencia de superficies impermeables confinantes de las soluciones (artificiales o naturales), etc.

Las principales variantes y ejemplos de aplicación son los siguientes:

#### IV.1. Lixiviación "in situ"

La extracción del uranio "in situ", tanto en yacimientos sin explotar, como en zonas marginales de minas exploradas o parcialmente explotadas-cuya investigación se inició en yacimientos de baja ley-, está adquiriendo progresivamente mayor importancia y hoy se prevé ya la recuperación de depósitos con tenores normales, dadas las características de los minerales de uranio, francamente favorables a la aplicación de este método.

Son condiciones necesarias la porosidad de la roca (natural o provocada artificialmente), que favorezca la circulación de soluciones y la geometría y características físico-mecánicas del yacimiento, que condicionen la existencia de bancos o hastias impermeables y posibiliten la recuperación de aquellas.

##### IV.1.a. Operación mediante laboreos mineros

En Francia, desde 1962, se estudió la posibilidad de recuperar el uranio de algunos paños de minas que no eran económicamente explotables por su baja ley (0,6 %  $U_3O_8$ , según dos

variantes [16].

En la mina "Les Jallerys" (Grury), se preparó un paño vertical de 40 x 35 m (Fig.2), en el que mediante perforaciones y tiros de poca carga se provocó una fracturación para facilitar la circulación de soluciones. Desde el nivel superior (-30 m) se vertió agua, la que en presencia de abundante pirita en el mineral produce  $SO_4H_2$ , que lixivía el uranio. La solución se recoge en un nivel inferior (-65m), reciclándola hasta que alcanza una concentración conveniente, se precipita el uranio con lechada de cal.

Otra variante del mismo sistema se aplicó en "Brugeaud" (Bessines), abatiendo la parte superior de un paño de baja ley (Figura 3) sobre la inferior que servía de puente, a los efectos de facilitar la sustentación del mineral y la circulación de los líquidos, en este caso soluciones de  $SO_4H_2$ . Dicho método es en la actualidad de aplicación normal en el citado yacimiento, para los sectores con leyes marginales.

En España, también se han encarado ensayos de este tipo en la mina filoniana "Los Ratones" y en el yacimiento de pizarras impregnadas de "Ojaranzos", con mineralización de baja ley, la que se extiende hasta unos 25 m de la superficie [13].

En "Ojaranzos" (Fig.4), a favor de la topografía del terreno, se ha previsto la ejecución de un socavón, en la base del cuerpo, y una galería transversal de drenaje, a partir de los cuales se realizarán perforaciones divergentes y voladura de la zona en forma de embudo, para favorecer la fracturación y circulación de soluciones, las que serán alimentadas desde superficie y recogidas en las galerías de base.

En la U.R.S.S., dichos métodos se aplican ya en escala industrial. Una vez preparado el paño (de hasta 11.000 t), se procede a la fracturación del mineral, mediante pegas con barrenos largos, que provocan una fragmentación en trozos del

orden de 200 mm, reduciendo el costo al 20% del total de la explotación minera convencional. La extracción del uranio se realiza por circulación de soluciones ácidas, a través de galerías de techo y base.

#### IV.1.b. Operación mediante sondeos

En los Estados Unidos, la Utah Construction Mining Co. utilizó un procedimiento patentado para la recuperación del uranio en la mina Shirley Basin, depósito alojado en sedimentos horizontales, confinados por bancos impermeables, por debajo del nivel del agua. La porosidad y condiciones físico-mecánicas del yacimiento, favorecen la circulación de soluciones [12].

La operación consiste en la ejecución de cuatro sondeos para cada bloque de explotación, tres de ellos para la extracción de los líquidos—mediante bombas internas de profundidad—y un cuarto, en posición central para la inyección de la solución lixiviante. Otros dos sondeos adicionales permiten controlar el nivel del agua.

A la solución de extracción ( $\text{SO}_4\text{H}_2$  al 0,1 a 0,5%), se le agrega clorato sódico como oxidante y un floculante para favorecer la circulación. El uranio aparece en los líquidos extraídos en menos de 48 horas, alcanzando concentraciones de 0,10 a 0,30 gr  $\text{U}_3\text{O}_8$ /litro y recuperaciones que se aproximan al 100%.

La recuperación "in situ" se verá en el futuro favorecida por las posibilidades de aplicación de la energía atómica en la industria minera, aprovechando las explosiones nucleares para la fracturación de grandes volúmenes de roca, realizando a posteriori la extracción de los minerales por lixiviación. Así se desprende de las recientes realizaciones americanas de Gasbuggy (para la recuperación de gas) y Sloop, que permitió la fracturación de 1.300.000 toneladas de mineral de cobre, el

que se recuperará mediante lixiviación "in situ".

#### IV.2. Lixiviación en pilas "Heap leaching"

Este método estriba esencialmente en el apilar del mineral tal como sale de la mina ("tout venant"), o con una trituración gruesa, sobre lechos filtrantes y playas impermeabilizadas, procediéndose luego al riego, repetido varias veces, con soluciones lixiviantes adecuadas (Fig.5).

El procedimiento se comenzó a aplicar en Portugal (Mina "Urgeiriga"), en España (Minas "Caridad", "Valdemascaño", "La Carretona"), y Estados Unidos (Mina "Lucky Mc"), con minerales marginales de uranio, aunque sin realizar aún en esa época un estricto control técnico-económico de la operación, la que estaba orientada solamente a la recuperación de cantidades adicionales de uranio.

El Commissariat à l'Energie Atomique de Francia, fué el primer Organismo que encaró un estudio sistemático de las posibilidades del método, sobre bases científicas, realizando la faz experimental sobre minerales de baja ley, en esquistos negros de los Vosgos [17].

#### IV.3. Experiencia en Argentina

Argentina presta especial interés al tema desde 1961, ya que el alejamiento de algunos yacimientos de las plantas existentes y el volumen sólo discreto de sus reservas, confería un interés especial para su aprovechamiento económico por esta vía.

Se realizaron ensayos a escala de laboratorio de varios minerales argentinos [16] y previo un ensayo a escala semiindustrial se inició en 1964 en "Don Otto" (Salta) un programa a razón de unas 20.000 toneladas de mineral por año, el que continúa a la fecha.

El método se aplica sobre mineral de la zona oxidada del yacimiento ("minerales amarillos"), con una gruesa preparación previa. El mineral se dispone sobre lechos filtrantes y

bases impermeabilizadas, en pilas de paredes verticales de hasta 4 metros de altura (Fig.5) y de hasta 5.000 toneladas cada una. El riego (espejo líquido) se realiza con solución lixiviante de  $\text{SO}_4\text{H}_2$  con pH 1 a 1,5, tres o cuatro veces por día, durante un lapso de 6 a 8 meses, alcanzándose recuperaciones del orden de 85 al 90% del  $\text{U}_3\text{O}_8$  contenido.

La solución así obtenida, con contenido de uranio de hasta 4 a 5 gramos de  $\text{U}_3\text{O}_8$ /litro, se precipitaba con lechada de cal, obteniéndose preconcentrados (diuranato de calcio), con leyes de 3 a 5 %  $\text{U}_3\text{O}_8$ , los que se terminaban de procesar en una planta convencional. Actualmente, se está completando la instalación de una planta compacta, la que permitirá la recuperación del uranio de dichas soluciones, mediante resinas de intercambio iónico, obteniéndose un "yellow cake" standard.

Las conclusiones derivadas de la aplicación industrial de este sistema son las siguientes:

- 1º.- Una economía considerable de los costos de instalación en relación a los de una planta convencional, lo que se hace igualmente extensivo a los consumos de energía.
- 2º.- Una economía del 25 al 30% en el consumo de reactivos lixiviantes, respecto al de la planta convencional, ya que se opera en condiciones de acidez más débil, con mayor selectividad para el uranio, lo que asegura asimismo menor incorporación de impurezas.
- 3º.- Una mayor simplicidad de las operaciones, lo que posibilita la utilización de mano de obra menos especializada y de materiales y equipos más rústicos.

Para el "mineral amarillo" de "Don Otto", como para otros yacimientos argentinos, con condiciones especiales favorables ("Los Adobes", "La Estela", "Sañogasta", etc), dicho método es ampliamente competitivo con respecto al de una planta convencional.

"Don Otto" y demás afloramientos del área Tonco-Amblayo. Segundas Jorn.Geol.Arg., Salta, 1963.

/12/ SMITH, S.E. and WHITE, P.A. Uranium Ore Processing. E/MJ, June 1969.

/13/ MARTINEZ, A., Nuevas Técnicas en la Explotación de Yacimientos Minerales y su aplicación a los de Uranio. Rev.Energ.Nuclear, Nº 57, págs. 4-9, Madrid, 1969.

/14/ MOCHILSKY, H., Concentración Física de Menas de Uranio Arcilloso-Calcareas de Baja Ley. Tercera Conf. Intern. de N.U. sobre la Utiliz. de la Energ. Atom. con Fines Pacíficos, Vol.12, P/408, págs. 128-136, Geneva, 1964.

/15/ CECCHETTO, A.M.; COPPA, R.C.; DEL BOCA, R.; LICHA, A. y STIPANICIC, P.N., Aplicación de la lixiviación en pilas ("heap leaching") en el tratamiento de minerales argentinos. Tercera Conferencia Internacional de las Naciones Unidas sobre la Utilización de la Energía Atómica con Fines Pacíficos, Vol.12, P/768, pags.204-213, Geneva, 1964.

/16/ STIPANICIC, P.N. y RODRIGO, F., Nuevas posibilidades de aprovechamiento económico de algunos yacimientos metalíferos. Segundas Jorn.Geol.Arg., Salta, 1963.

/17/ MOURET, P. et POTTIER, P., Lixiviation por Capillarité des minerais d'Uranium. 32º Congr. Intern.Quim. Indust. Barcelona, 1960.

## B I B L I O G R A F I A

- [1] CARLIER, A. Contribution aux Méthodes d'Estimation des Gisements d'Uranium. Thèses, Fac. Scienc. Univ. Paris, S. 4226, N° 5077, Paris, 1964.
- [2] DEPARTAMENTO RECURSOS MINERALES. Normas sobre Trabajos de Evaluación. Inf. int. de la Gerencia de Materias Primas, CNEA, Buenos Aires, 1964.
- [3] STIPANICIC, P.N., Scientific Sessions on Uranium Resources and Possibilities. CNEA, Buenos Aires, 1960.
- [4] PAULKNER, R.L. and MC VEY, W.A., "Fuel Resources and availability for Civilian Nuclear Power", 1964-2000 Tercera Conferencia Internacional de las Naciones Unidas sobre la Utilización de la Energía Atómica con Fines Pacíficos. 28/P 256. 1964.
- [5] FRIZ, C.T.; RODRIGO, F. y STIPANICIC, P.N., Recursos y posibilidades uraníferas de la Argentina. Tercera Conf. de las Nac. Unidas sobre la Utiliz. de la Energía Atóm. con Fines Pacíficos, Vol, 12, P/405, pags. 42-54, Geneva, 1964.
- [6] ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, World Uranium and Thorium Resources. European Nuclear Energy Agency, París, 1965.
- [7] EUROPEAN NUCLEAR ENERGY AGENCY, Uranium Resources. Revised estimates. Rep., ENEA, Paris, 1967.
- [8] O.E.C.D., Uranium, Production and Short Term Demand. Rep. ENEA., París, 1969.
- [9] STIPANICIC, P.N.; RODRIGO, F.; BELLUCO, A. y DAVIDS, N., Estado Actual y Evolución de los Recursos Urániferos Argentinos. Inf. Inéd. CNEA, Buenos Aires, 1965.
- [10] LARRALDE, L., Mise en Valeur d'un Gisement Filonien d'Uranium. Rapport int. CEA. France, París, 1961.
- [11] PARERA, C.A. e IBÁÑEZ, M., Yacimiento uranífero

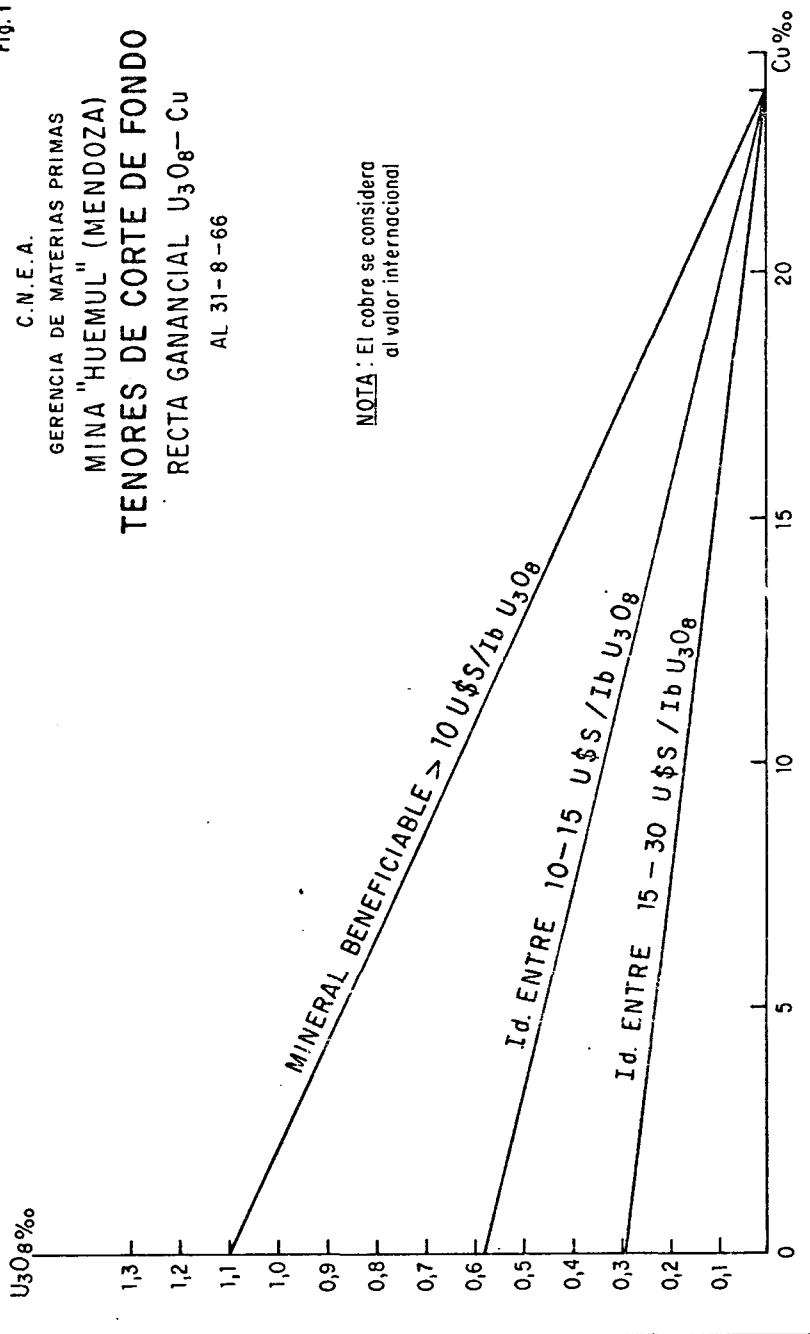
CONTENIDOPAGINA

I.	<u>CONCEPTO DE YACIMIENTO</u>	1
	1. Yacimiento Geológico	1
	2. Yacimiento Económico	2
	3. Tenor de Explotabilidad	3
	4. Marginalismo y tenores de corte	4
II.	<u>CLASIFICACION DE LOS RECURSOS URAFINEROS</u>	7
	1. Antecedentes	7
	2. Conceptos que rigen la clasificación de los recursos a partir de 1960	7
	3. Categorías de los recursos según el uso de la información	11
	4. Categorías de los recursos con aplicación de cálculo estadístico	12
	5. Clasificación de las reservas según el grado de desarrollo	12 bis
III.	<u>DECISION SOBRE LA INSTALACION DE UN COMPLEJO FABRIL MINA-PLANTA</u>	13
	1. EXPLOTACION MINERA	14
	a. Características del yacimiento. Reservas mínimas	14
	b. Concurrencia de varios yacimientos	16
	c. Costo de la producción minera	17
	d. Transporte del mineral	18
	2. TRATAMIENTO DEL MINERAL	18
	a. Construcción de la Planta. Capacidad, inversiones	18
	b. Costos operativos del tratamiento del mineral	20
IV.	<u>NUEVAS POSIBILIDADES DE APROVECHAMIENTO ECONOMICO DE YACIMIENTOS DE URANIO</u>	22
	1. Lixiviación "en situ"	25
	2. Lixiviación en pilas	28
	3. Experiencia en Argentina	28
V.	<u>BIBLIOGRAFIA</u>	30

Fig. 1

C. N. E. A.  
GERENCIA DE MATERIAS PRIMAS  
MINA "HUEMUL" (MENDOZA)  
TENORES DE CORTE DE FONDO  
RECTA GANANCIAL  $U_3O_8 - Cu$   
AL 31-8-66

NOTA: El cobre se considera  
al valor internacional



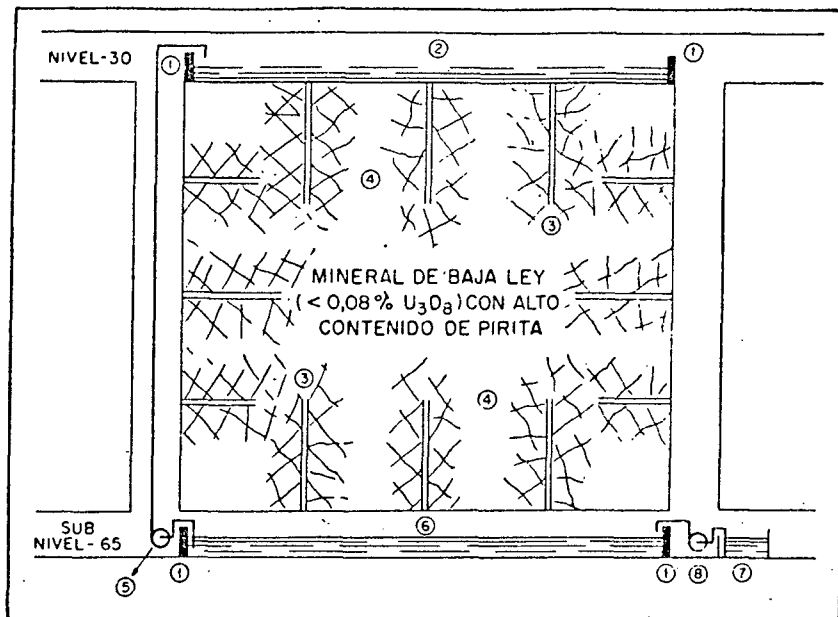


Fig. 2. — Esquema de lixiviación «in situ» en la mina «Les Jullerys» (Grury), Francia: 1, pantallas de cemento para almacenar líquidos; 2, agua o soluciones recicladas; 3, barrenos para fracturar la roca; 4, con explosivos de poca carga; 5, bomba para reciclar líquidos; 6, soluciones ya aciduladas o cargadas con uranio; 7, depósito de cal que se bombea (8) para precipitar el uranio (6).

(Según Stipanovic y Rodrigo)

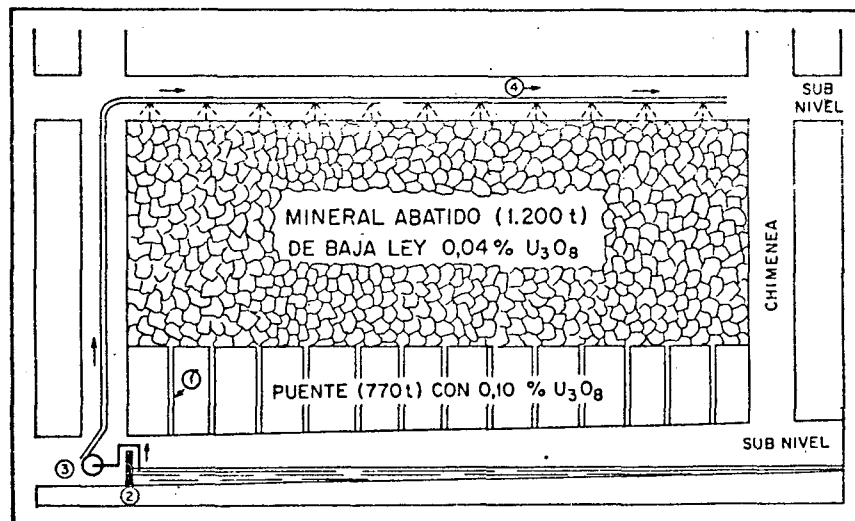
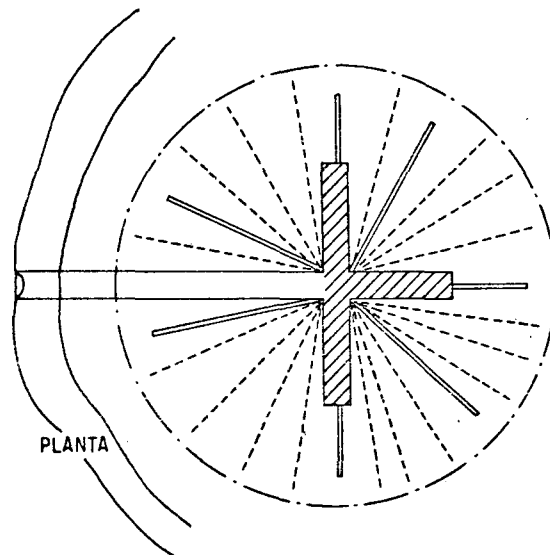
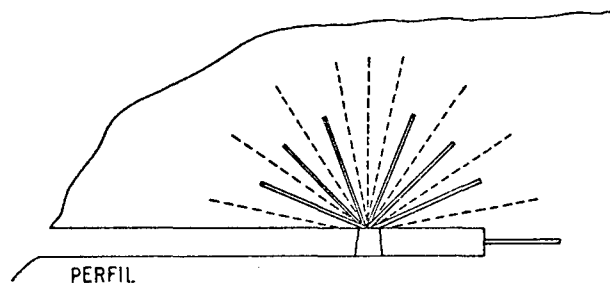






Fig. 3 — Esquema de lixiviación «in situ», en la mina «Le Brugeaud» (Bessines) Francia: 1, perforaciones en el puente para permitir la circulación de los líquidos acidulados lixiviantes; 2, pantalla de cemento para endicamento de las soluciones; 3, bombas para reciclar soluciones, las que se vacían sobre el mineral abatido mediante una manguera cribada (4).

(Según Stipanovic y Rodrigo)

# YACIMIENTO "OJARANZOS" (ESPAÑA) ESQUEMA DE LIXIVIACIÓN "IN SITU"



### REFERENCIA

-  GALERÍA DE DRENAJE
-  BARRENO DE DRENAJE
-  BARRENO DE CARGA
-  BORDE ZONA EXPLOTADA

(Según A. Martínez)

CROQUIS DE UNA INSTALACIÓN DE LIXIVIACIÓN

