

EVALUACION DE LA MINA NUCLEAR CERRO SOLO
PROVINCIA DEL CHUBUT

SOBRE LOS PARAMETROS ECONOMICOS DEL DEPOSITO
PARTE 3

P. R. NAVARRA; P.G. SARDIN; L. URQUIZA;
G. J. BERNAL; D. GUZMAN LOBOS

Comisión Nacional de Energía Atómica

Trabajo a ser presentado en el 12. Congreso
Geologico Argentino; 2. Congreso de exploracion de
hidrocarburos realizado en Mendoza, Argentina, del
10 al 15 de octubre de 1993

EVALUACION DE LA MINA NUCLEAR CERRO SOLO, PROV. DEL CHUBUT

Parte 3: Sobre los parámetros económicos del depósito.

Autores: Navarra, P.R., Sardín, P.G., Urquiza, L., Bernal, G.J.,
y Guzmán Lobos, D.

Tema del Congreso:

f) Geología minera, nuclear y combustibles sólidos.

Dirección de los autores:

Comisión Nacional de Energía Atómica
Azopardo 313
5501 - Godoy Cruz, Mendoza
Teléfono: 061 - 220796
FAX: 061 - 350468

EVALUACION DE LA MINA NUCLEAR CERRO SOLO, PROV. DEL CHUBUT

Parte 3: Sobre los parámetros económicos del depósito.

Navarra, P.R., Sardín, P.G., Urquiza, L., Bernal, G.J., Guzmán Lobos, D.
Comisión Nacional de Energía Atómica, Departamento Evaluación, Azopardo
313, 5501 - Godoy Cruz, Mendoza.

Abstract:

Preliminary results of the resources estimation carried out in the Cerro Solo uranium ore deposit, located in the Chubut Province, 1900 kmSW from Buenos Aires and 380 km W from Trelew, presented in tonnes of uranium recoverable at costs up to U\$80/kgU, are as follows:

Reasonable Assured Resources (Indicated) 800 tU

Estimates Additional Resources (Inferred) 2200 tU

Economic evaluation at the order-of-magnitude level, performed using the grade-tonnage model of the deposit, resulted a useful tool in the different stages of the project to identify the influence of technical parameters on the potential profitability.

Research about feasibility of in-situ leaching method of exploitation for this deposit introduce an interesting alternative for future uranium production in the country.

Introducción:

Se presentan los resultados preliminares de los estudios realizados en la Mina Nuclear Cerro Solo, relativos a la evaluación económica, como parte del Proyecto que la Comisión Nacional de Energía Atómica desarrolla con el fin de evaluar este depósito. La información utilizada fue obtenida en 190 perforaciones realizadas desde octubre de 1990 hasta diciembre de 1992 inclusive, correspondientes a la primera y el 50% de la segunda etapas de este Proyecto (21000 m), y en 280 perforaciones ejecutadas en trabajos anteriores (aproximadamente 30000 m). Se preve completar la segunda etapa del Proyecto en 1993 con 110 perforaciones adicionales (11500 m).

Se describen aspectos de la metodología empleada, especialmente en lo referente al análisis económico, y al estudio sobre la factibilidad de aplicación de la tecnología de lixiviación in-situ, que se realiza por primera vez en el país.

Objetivos:

El objetivo de la segunda etapa del Proyecto Cerro Solo es definir las características de la mineralización uranífera a fin de identificar los niveles explotables en cuanto a morfología, dimensiones y posición espacial, y en lo relativo a las características físicas y mineralógicas vinculadas con los posibles métodos de explotación y tratamiento a utilizar. Sobre esta base se realizará la estimación de recursos de uranio y el análisis económico, con la precisión adecuada para adoptar las decisiones que permitan pasar a la etapa de prefactibilidad.

Area estudiada:

La estimación preliminar de recursos de uranio utilizada en este trabajo incluye a los sectores principales del Yacimiento Cerro Solo, que abarcan unas 85 ha, a sectores marginales que se encuentran adosados a aquellos, y a depósitos situados en la proximidad de Cerro Solo sobre el flanco oriental de la Sierra de Pichiñán.

En dichos sectores principales se ejecutaron 170 perforaciones, a malla cuadrada de 50x50m; utilizándose en lugares restringidos mallas más cerradas.

El yacimiento se ubica en los 43°20' de latitud y 68°45' de longitud, a 630 m.s.n.m., y 380 km al oeste de Trelew, Prov. del Chubut. Se accede por la ruta nacional Nro. 25 hasta la localidad de Paso de Indios, que cuenta con 800 habitantes, y desde allí por la ruta provincial Nro. 9 se recorren 70 km hasta el yacimiento. Ver mapas de ubicación, figura 1. El área del yacimiento es de topografía suave. El clima es continental seco, permitiendo trabajar la mayor parte del año. El agua subterránea es abundante, considerándose apta para fines industriales.

Metodos empleados:

La información necesaria para la estimación de reservas se obtiene principalmente de la cuantificación de anomalías detectadas en el perfilaje gamma de las perforaciones, realizado empleando sondas cintilométricas y registrando la información analógicamente, en forma gráfica.

Estos registros son interpretados utilizando factores de calibración apropiados, mediante la tecnica del Departamento de Energía de EE.UU., para calcular ley y espesor de la mineralización (IAEA, 1982; Muñiz, 1983; Navarra y Muñiz, 1988).

La confiabilidad de este método es controlada mediante análisis químicos de un número adecuado de testigos de perforación, en lo referente a la relación directa radimetría-tenor, e indirectamente analizando muestras de cutting y testigos para verificar que la emisión gamma de los minerales de uranio corresponda a una relación de equilibrio entre el elemento uranio y los productos de desintegración, emisores de la radiactividad gamma en el espectro registrado.

En el cálculo de los recursos in-situ se empleó un metodo convencional de cuadrados, atribuyendo área de influencia de las muestras sobre los niveles mineralizados, de acuerdo al hábito de los mismos. Sobre este último tema se realizan necesariamente estudios exhaustivos, dada la complejidad de la mineralización debida al tipo de ambiente sedimentario al que pertenecen las rocas portadoras. Se trata principalmente de areniscas conglomerádicas y conglomerados fluviales del Grupo Chubut (Cretácico).

En la selección de metodos aplicables de explotación y tratamiento de los minerales, se consideran los antecedentes existentes en el área, que corresponden principalmente a la explotación de los yacimientos Los Adobes (Navarra, 1977) y Cerro Cóndor (Gallucci, 1980), y tratamiento del mineral de ambos yacimientos en la planta de Paso Berwyn, y se realizan estudios utilizando muestras de terreno obtenidas en las perforaciones de evaluación, que consisten en ensayos físicos de testigos y análisis químicos de diversos elementos en testigos y cutting, incluyen-

do ensayos de lixiviación a escala de laboratorio empleando distintos reactivos. Asimismo, se realizan análisis de los elementos que podrían intervenir en procesos de contaminación y/o restauración de las condiciones originales del medio ambiente, en muestras de terreno y aguas subterráneas.

Paralelamente al estudio preliminar de las condiciones para utilizar métodos convencionales, se reúne la información necesaria para el estudio de factibilidad de aplicación de la tecnología de lixiviación in-situ (IAEA, 1989).

Esta tecnología consiste básicamente en la extracción del uranio del mineral lixiviándolo in-situ mediante reactivos adecuados a través de pozos de inyección y de producción. Se trata de un método que posee importantes ventajas, dado que se caracteriza por el bajo costo de los concentrados de uranio obtenidos y por permitir un control del impacto en el medio ambiente que facilita mantenerlo en los niveles normalmente exigidos. Este método se aplica a yacimientos de uranio que reúnen determinadas características geológicas relacionadas con el modelo económico de aplicación en este caso. De resultar aplicable es posible combinarlo eventualmente con métodos convencionales, siendo la primera vez que se estudia sistemáticamente la posibilidad de su utilización en la Argentina. El Yacimiento Cerro solo reúne las condiciones fundamentales que justifican realizar este estudio, lo que por otra parte no implica agregar un costo significativo al Proyecto:

- Modelo de yacimiento: uranio en areniscas.
- Mineralización por debajo del nivel freático.
- Capas horizontales.

En relación a este método, al presente se investigan las condiciones hidrogeológicas del área del yacimiento en colaboración con la Dirección de Recursos Hídricos de la Prov. del Chubut, y la litología de los niveles mineralizados y confinantes, con especial atención a la permeabilidad de los mismos. Por otro lado, se comprueba el comportamiento del mineral frente a diferentes reactivos.

En lo relativo a la estimación de recursos de uranio, sobre la base de la estimación de los recursos in-situ, y aplicando coeficientes de recuperación en mina y planta típicos para los métodos de explotación y tratamiento seleccionados, se calcularon tonelajes de fino recuperables del mineral explotable. Asimismo, se partió de una estimación de mineral in-situ total, utilizándose luego distintos tenores de corte de fondo, para obtener el modelo ley-tonelaje del depósito a fin de permitir el análisis de sus características económicas. Ver Figura 3.

La información sobre costos de inversión y de operación previsible en la etapa de producción, necesaria para este análisis, fue extraída de una base de datos creada en la CNEA, que incluye información seleccionada de costos de explotación y tratamiento originada en centros productivos de uranio nacionales e internacionales.

Resultados:

Los resultados de la estimación de recursos se reunieron en una tabla, clasificándolos en categorías de certidumbre y de costos de acuerdo al sistema del Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA, OECD NEA, 1991), y su equivalente en una clasificación convencional. Ver figura 2.

Los tres sectores denominados principales acumulan al presente más del 95% de los recursos recuperables a costos razonables del Yacimiento. Estos se ubican a su vez en una proporción importante en la categoría de inferido como consecuencia de la irregular distribución de la mineralización. En este sentido, se preve ejecutar perforaciones en metraje limitado a malla cerrada en sectores seleccionados, para optimizar globalmente la precisión de la estimación, acorde a los objetivos de esta etapa de la evaluación.

Realizando un análisis preliminar de los parámetros económicos del yacimiento, con los márgenes de error en la estimación de costos de explotación y tratamiento propios de la etapa de evaluación, que corresponden al nivel orden de magnitud, y sin dejar de lado que las conclu-

siones del mismo no son adecuadas para adoptar decisiones a escala de producción, que deben basarse en estudios más precisos, obtenemos una herramienta útil para identificar los factores esenciales involucrados en la exploración y evaluación, y para analizar la rentabilidad potencial del depósito (Gatzweiler et al., 1992).

A los fines de este análisis los recursos de las categorías indicado e inferido pertenecientes a los sectores principales del yacimiento fueron considerados "reservas", y se definió un espesor mínimo de 1m para los niveles mineralizados, resultando un espesor promedio de 2m; en este caso la profundidad promedio del techo de los niveles mineralizados es de aproximadamente 96 m.

Por otra parte los estudios realizados indican que, siendo en principio inviable explotar este Yacimiento a cielo abierto, el análisis al presente, dentro de los metodos convencionales debe orientarse hacia la explotación subterránea. Se adopta como hipótesis el empleo del metodo de cámaras y pilares (Ellis, 1979). En lo relativo al tratamiento de los minerales, siempre en la línea convencional, se consideran las dos alternativas posibles, es decir, planta convencional y lixiviación en pilas, teniendo en cuenta que los resultados de los ensayos de lixiviación realizados a escala de laboratorio son positivos respecto al comportamiento de los minerales de uranio en la lixiviación con distintos reactivos.

Para la aplicación del metodo del valor actual neto se selecciona un tenor de corte de fondo de 1,0%.U, en base a las curvas del modelo ley-tonelaje. Ver Figura 3.

En la hipótesis de que para los sectores principales del yacimiento se aplicarán metodos convencionales de explotación y tratamiento, de acuerdo a los parámetros adoptados se explotarían 1100000 toneladas de mineral, con una ley de cabeza de 3%.U, recuperándose en planta aproximadamente 3000 t U.

Se consideró en este caso arbitrariamente un precio para el kilogramo de U equivalente a un costo reciente de producción promedio mundial: 70

U\$S/kgU (Muller-Khale, 1981).

Una de las alternativas de flujos de caja actualizados surgidas en base a estos datos, se muestra en la figura 4.

Con estos parámetros, el valor actual neto y la tasa interna de retorno corresponden a un proyecto atractivo.

Discusión:

El análisis de sensibilidad de la Figura 5 muestra la variación de la TIR respecto a los parámetros más significativos. Es evidente la gran influencia de precio y ley del mineral, estando subordinados en este sentido los costos de capital y operativos.

Esto señala una característica importante del depósito: un porcentaje muy elevado de los recursos es de alta ley, lo que permitiría seleccionar un tenor de corte de fondo correspondiente a una buena rentabilidad del Proyecto soportando costos operativos relativamente altos.

En relación a la economicidad de la aplicación del método de lixiviación in-situ, las estimaciones realizadas extrapolando adecuadamente costos de yacimientos en explotación en EE.UU. de Norteamérica, considerando hipotéticamente que esta tecnología se utilizaría en los niveles mineralizados de baja ley, permiten establecer que es factible producir concentrados de uranio a costos por kilo del mismo orden de magnitud que aplicando métodos convencionales, con leyes tres veces menores, siempre que se utilice la infraestructura montada para el tratamiento convencional.

Conclusiones:

Los resultados obtenidos hasta el presente indican que existen buenas posibilidades de que cuando concluya el Proyecto de evaluación del Yacimiento Cerro Solo, se incorpore al inventario de recursos uraníferos del país un yacimiento factible de ser explotado a costos competitivos, y con un volumen de reservas significativo.

Si el resultado de este proceso es positivo se potenciarían al mismo tiempo las expectativas respecto a la favorabilidad uranífera de la

Cuenca del Golfo de San Jorge.

Por otra parte, se está adquiriendo en este Proyecto una experiencia muy importante en relación a los estudios de factibilidad de aplicación de la tecnología de lixiviación in-situ, que, además de ser eventualmente aplicables a Cerro Solo, dejarán un "know-how" utilizable en otros yacimientos, lo que se puede considerar trascendente si se observa el interés creciente existente en el mundo por la aplicación de esta tecnología.

Es importante destacar que definir económicamente la potencial rentabilidad del proyecto en las etapas de exploración y evaluación, resulta en este caso de gran utilidad para orientar las decisiones relativas a las inversiones a realizar, contribuyendo además a sistematizar los estudios sobre posibles métodos de explotación y tratamiento.

Lista de trabajos citados en el texto

- ELLIS, T., 1979, Estimation of minimum specifications for economically explorable sandstone-type uranium deposits. Colorado School of Mines Quarterly, Vol.74, N.1.
- GALLUCCI, A.R., 1980. Explotación yacimiento Co. Condor. Inf. interno CNEA.
- GATZWEILER, R.; VELS, B. & BRAUN, R.; 1992. Economic target modelling in exploration: methodology and case study of the western part of the Athabasca basin, Canada. International Atomic Energy Agency, 35-42, TECDOC-650.
- IAEA, 1982. Borehole logging for uranium exploration. A manual. International Atomic Energy Agency, Technical Report N.212.
- IAEA, 1989. In situ leaching of uranium: technical environmental and economic aspects. International Atomic Energy Agency, TECDOC-492.
- IAEA, OECD NEA, 1991. Uranium. Resources, production and demand. Organization for economic co-operation and development, 255pp., Paris.

- MULLER-KAHLE, 1991. The uranium situation 1989-1990. A summary.
International Atomic Energy Agency/NENF, 1991-01-15.
- MUÑIZ, F.J., 1983, Central de calibración radimétrica. CNEA,
publicación interna.
- NAVARRA, P.R., 1976. Explotación yacimiento Los Adobes. Informe inter-
no CNEA.
- NAVARRA, P.R. y MUÑIZ, F.J., 1988. Aplicación de técnicas radimétricas
en la prospección, exploración y extracción de minerales
radiactivos. Actas del 3er. Congreso Nacional de Geolo-
gía Económica. Olavarría.

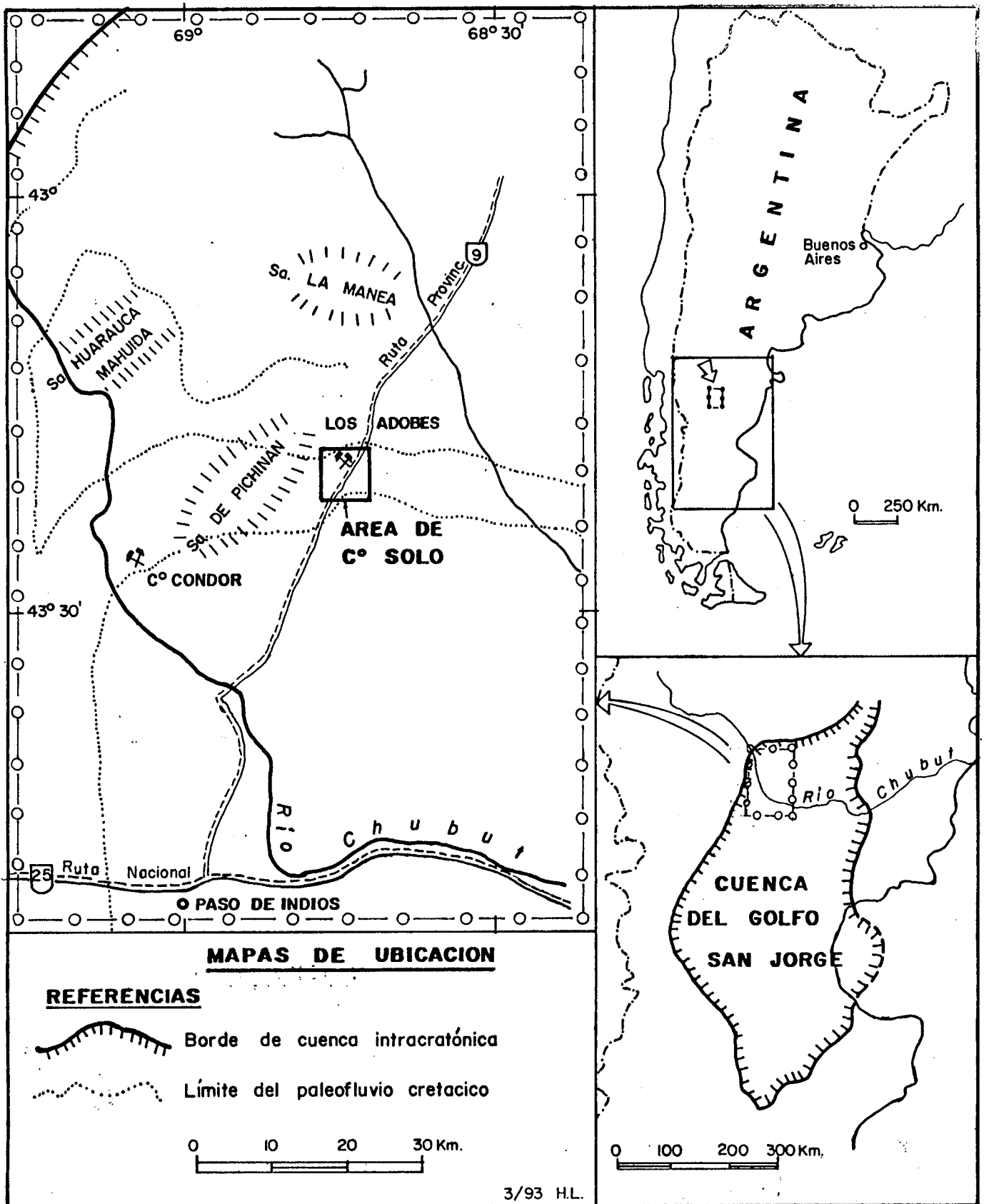


FIGURA 1 (LAS FIGURAS VAN A CONTINUACION DEL TEXTO)

YACIMIENTO CERRO SOLO

TABULACION DE LOS RECURSOS DE URANIO

1) RECURSOS

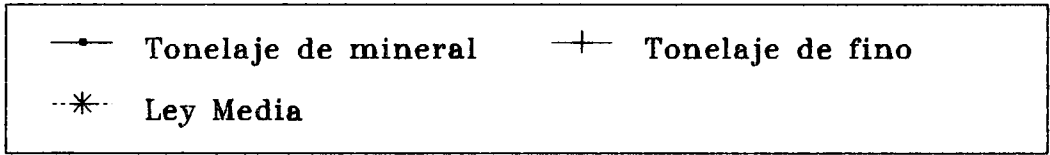
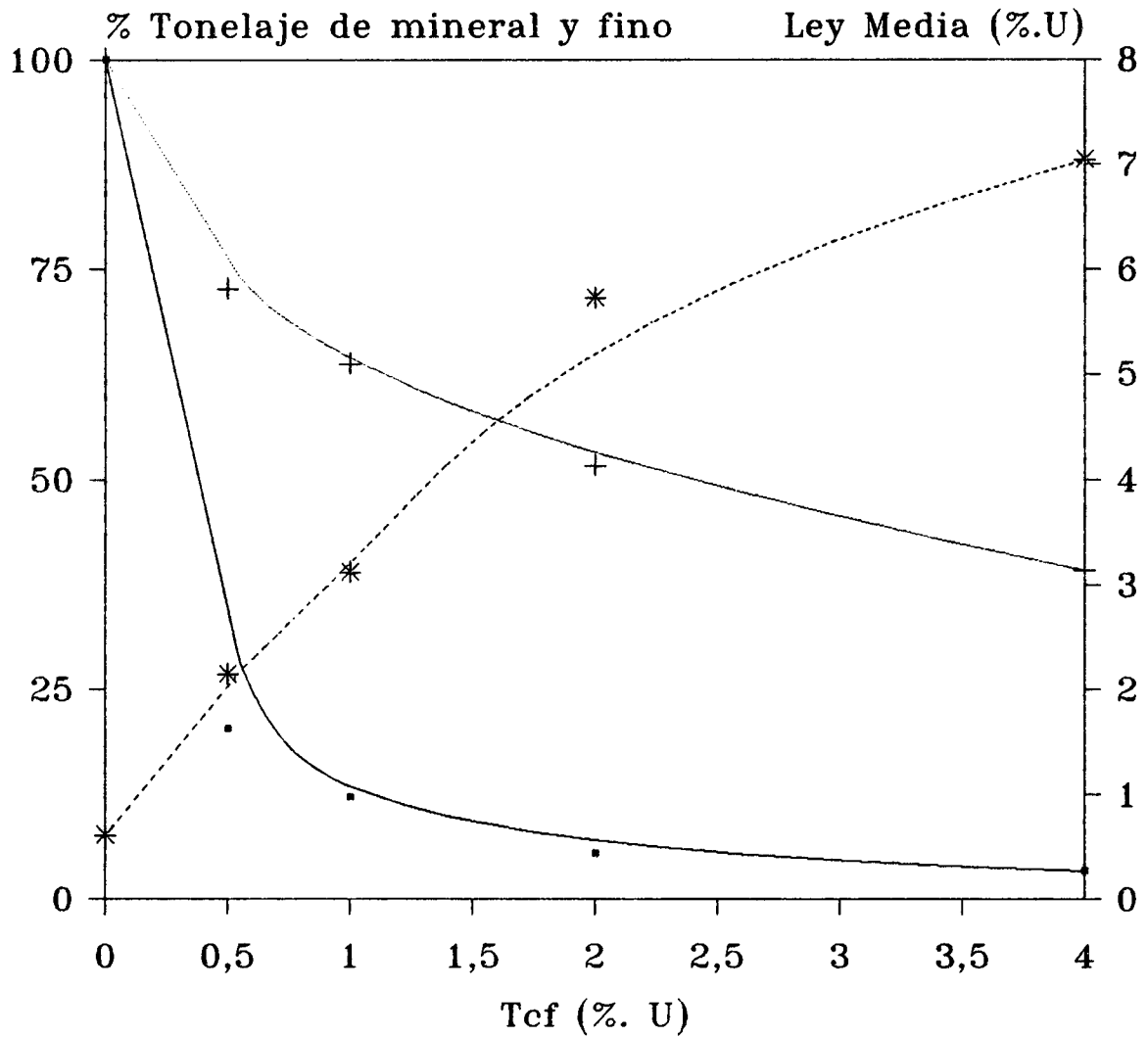
Clasificacion convencional	INDICADO		INFERIDO I	
Clasificacion OIEA	Recursos razonablemente asegurados RRA		Recursos adicionales estimados (I) RAE I	
Recuperables a costos	Hasta \$ 80/kgU	Entre \$ 80-130/kgU	Hasta \$ 80/kgU	Entre \$ 80-130/kgU
Toneladas de uranio recuperables	800	100	2200	200

2) RECURSOS ADICIONALES

Clasificacion convencional	INFERIDO II	
Clasificacion OIEA	Recursos adicionales estimados Cat. II RAE II	
Recuperable a costos	Hasta \$ 80/kgU	Entre \$ 80-130/kgU
Toneladas de U recuperables	300	300

MODELO LEY – TONELAJE

Yacimiento Cerro Solo



FLUJOS DE CAJA

Yacimiento Cerro Solo

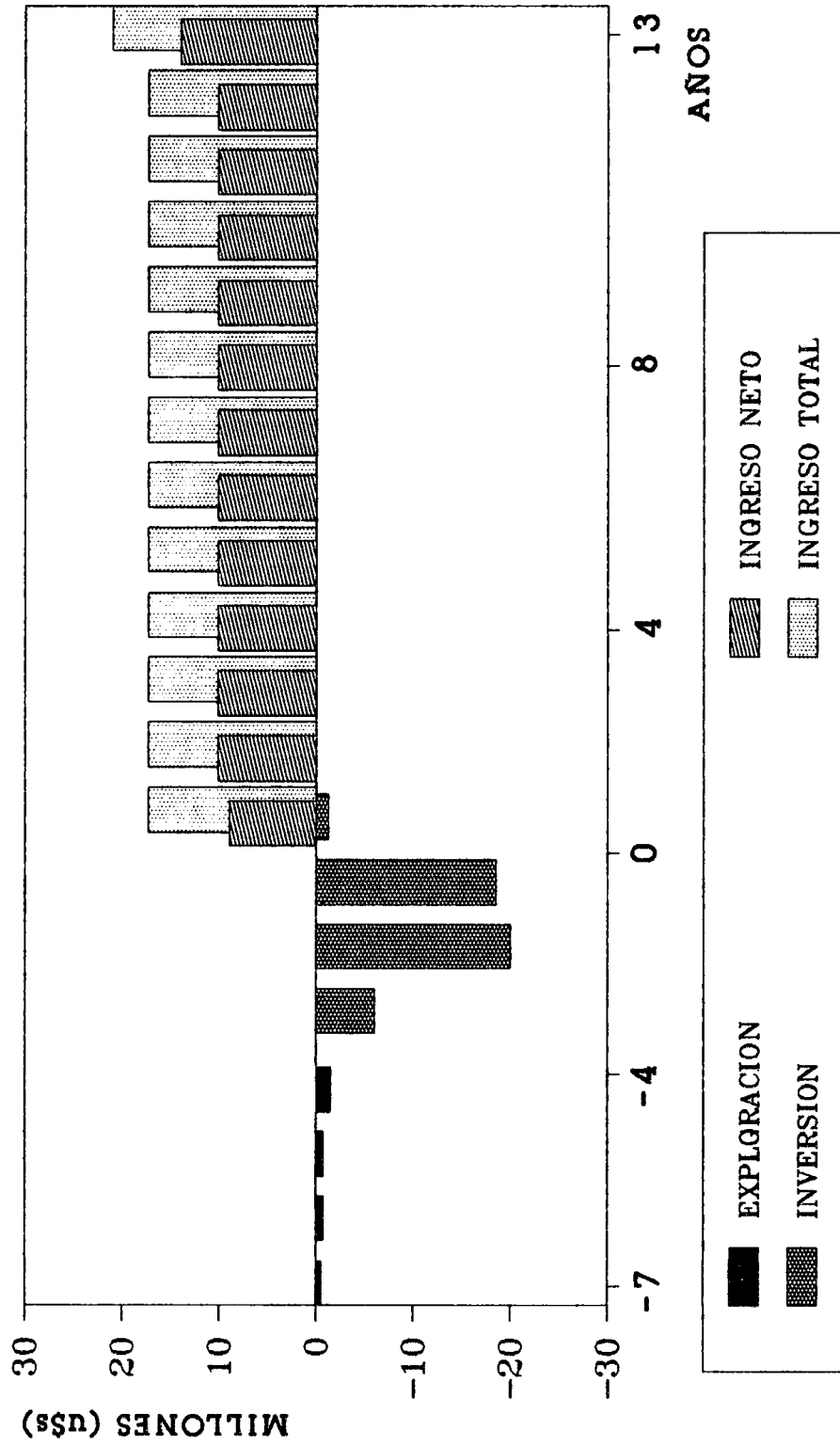


Fig. 4

ANALISIS DE SENSIBILIDAD

Yacimiento Cerro Solo

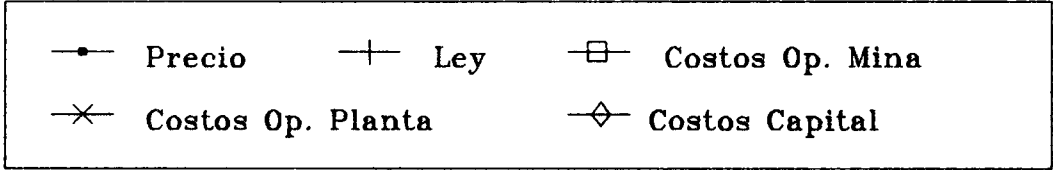
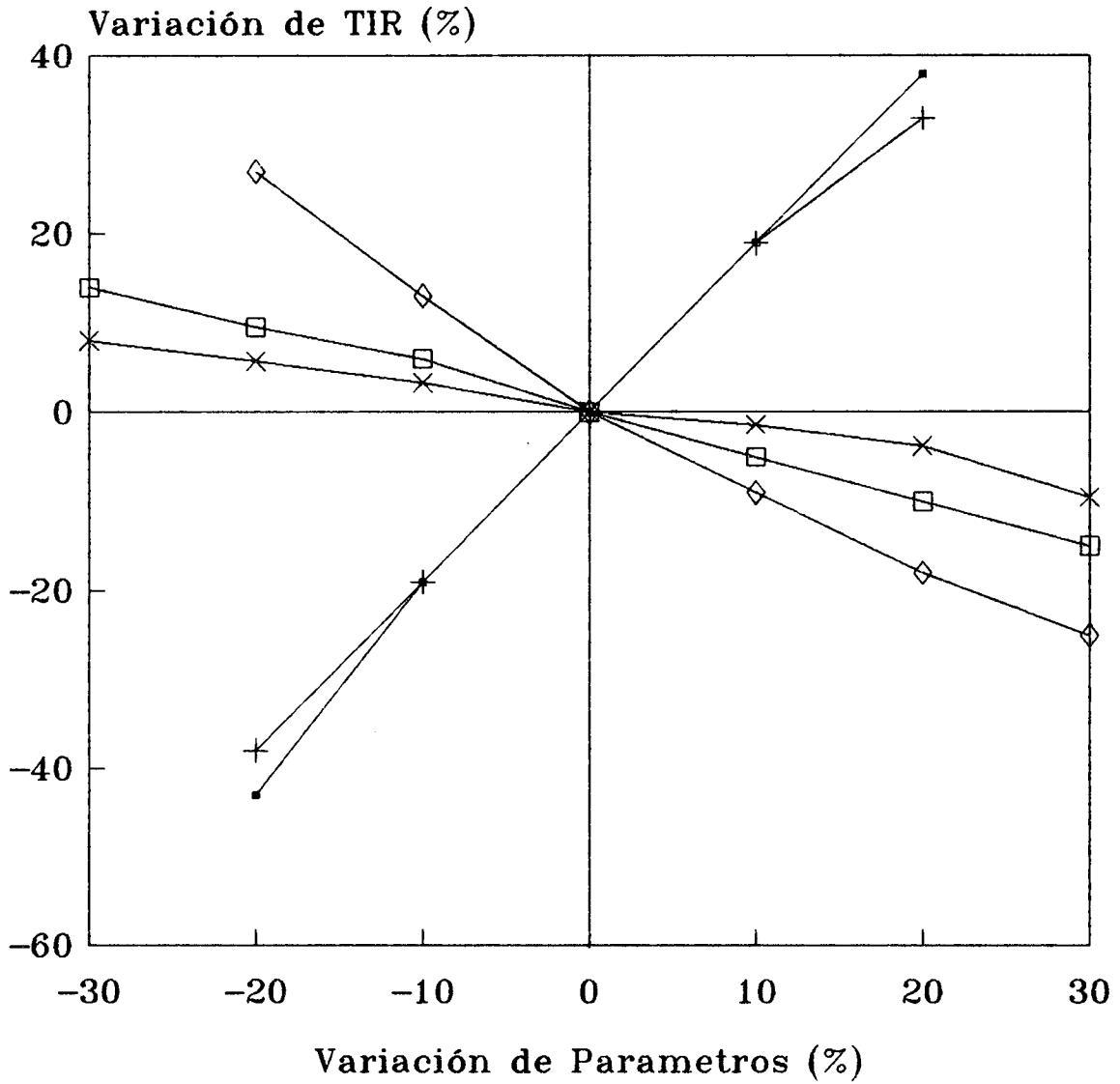


Fig. 5