

RG
061-3: 553.495
Lu8u
1979

05.80.13

GEOQUIMICA

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1980

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

GERENCIA DE MATERIAS PRIMAS

Minerales críticos

SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE LAS TECNICAS DE EVALUACION Y
EXPLOTACION DE YACIMIENTOS DE URANIO

BUENOS AIRES, 1º al 4 de Octubre de 1979

IAEA-SM-239/18

EVALUATION ET TECHNIQUES D'EXTRACTION DE L'URANIUM
RECUPERATION COMPLEMENTAIRE D'URANIUM PAR LIXIVIATION
EN PLACE SUR LE SITE DES BRUGEAUDS (LIMOUSIN-FRANCE)

G. LYAUDET
COGEMA - GRUPO C.E.A.
FONTENAY-AUX-ROSES

EVALUACION Y TECNICAS DE EXTRACCION DE URANIO

RECUPERACION COMPLEMENTARIA DE URANIO POR LIXIVIACION
"IN SITU" EN BRUGEAUDS - (LIMOUSIN - FRANCIA)

Armonob

Tradujo: Oscar A. Jofré - Gerencia de Exploración

Revisó: Sra. Elda SIDERAC de FARIANI - Gerencia de Planes

1980

SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE LAS TECNICAS DE EVALUACION
Y EXPLOTACION DE YACIMIENTOS DE URANIO

BUENOS AIRES, 1º al 4 de OCTUBRE - 1979

IAEA-SM-239/18

EVALUATION ET TECHNIQUES D'EXTRACTION DE L'URANIUM

RECUPERATION COMPLEMENTAIRE D'URANIUM PAR LIXIVIATION
EN PLACE SUR LE SITE DES BRUGEAUDS (LIMOUSIN-FRANCE)

EVALUACION Y TECNICAS DE EXTRACCION DE URANIO

RECUPERACION COMPLEMENTARIA DE URANIO POR LIXIVIACION
"IN SITU" EN BRUGEAUDS - (LIMOUSIN - FRANCIA)

G . LYAUDET

COGEMA - GRUPO C.E.A.

FONTENAY-AUX-ROSES

Tradujo: Oscar A. Jofré - Gerencia de Exploración

Revisó : Elda SIDERAC de FABIANI

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

EVALUACION Y TECNICAS DE EXTRACCION DE URANIO

R E S U M E N

A continuación de la explotación minera propiamente dicha del yacimiento de BRUGEAUD (Brugeaud Oeste y Brugeaud Este) se procedió a la recuperación complementaria del Uranio, por lixiviación "in situ".

Varias circunstancias favorables permitieron considerar estas operaciones:

- las cantidades de uranio contenidas en el marco de las zonas de interés uranífero ;
- una infraestructura minera subterránea que evitó la necesidad de trabajos complementarias para la recuperación de los licores ;
- la naturaleza de la roca, que ofrece una densa red de fracturas y microfracturas, favoreciendo la impregnación por una solución ácida ;
- la proximidad inmediata de una Planta de concentración.

La cantidad de uranio recuperada por lixiviación "in situ" está cercana a las 200 tn. Esta producción representa aproximadamente el 9 % del uranio total extraído del yacimiento. El costo de producción del metal obtenido en estas condiciones, es siempre inferior a los 100 FF. (cotización de 1978).

I.- GENERALIDADES SOBRE EL YACIMIENTO

1.1.- Situación y estructura (Esquemas Nos. 1 y 2)

El yacimiento (I) de BRUGEAUD se sitúa en jurisdicción de la División minera de la CROUZILLE, a 30 km al N. de LIMOGES, en el LIMOUSIN.

Los primeros indicios fueron encontrados el 24 de Junio de 1949, durante el curso de una prospección de reconocimiento. Un amplio relevamiento radimétrico fue emprendido poniendo en evidencia grandes anomalías orientadas N-S, con un gran número de puntos activos. Estos puntos se agrupaban en dos sectores distintos, a saber: BRUGEAUD OESTE y BRUGEAUD ESTE, que han sido objeto de diferentes explotaciones mineras.

La estructura del yacimiento es extremadamente compleja en sus detalles, pero su "esqueleto" es neto: las depositaciones se han efectuado en una red de fracturas de dirección general NW.

Estos accidentes de dirección NW son fallas secundarias y sobre todo fracturas de reactivación de la milonita (II) primaria ; ellos comprenden dos tipos extremos, entre los cuales existen todas las transiciones posibles.

a) Accidentes simples continuados se presentan accidentalmente sobre varias decenas, en realidad, centenas de metros, y verticalmente sobre 30 o también 50 cm ; las potencias normales están entre 1 a 2 metros. La mineralización tiene un comportamiento filoniano, que rellena dichas fracturas.

b) Una red muy densa de fracturas de todo orden; las más importantes de ellas tienen potencias del orden de decímetros; su continuidad no excede jamás de una docena de metros; los accidentes localmente mayores se pierden rápidamente en una intrínca red de múltiples fracturas secundarias.

En resumen, todo pasa como si el sistema de cizallamiento complejo N-S, al cual pertenece la gran falla, hubiera provocado la ruptura y el "estallido" de la zona milonítica.

(I) Este yacimiento se sitúa en el macizo granulítico de la HAUTE-VIENNE (LIMOUSIN).

(II) Roca triturada por las contracciones tectónicas.

1.2.- Mineralogía del uranio: formas de concentración y especies mineralógicas

Las depositaciones de mineral se efectuaron en las aberturas de los sistemas de fracturas, como pasaremos a describir:

Se distinguen dos categorías:

1a.) Los depósitos filonianos que no constituyen más que una escasa porción del yacimiento (15 % como máximo). Las características promedio son las siguientes:

Longitud	60 a 100 m
Potencia cercana a	1 m
Tenor promedio en uranio	0,5 %

En su origen, como ya se ha visto, esos filones eran de buenos tenores pero las modificaciones y las dispersiones tectónicas condujeron a la movilización de las masas mineralizadas y a la correlativa disminución de los tenores.

2a.) Los "amas" que representan lo esencial del mineral:

80 % en el nivel	-30 m	
75 % " " "	-65 "	
90 % " " "	-95 "	
80 % " " "	-125 "	, con tenores más pobres, frecuentemente inferiores al 0,1 %.

Las especies mineralógicas que se encuentran con mayor frecuencia, son la pechblenda y los minerales de alteración: parapechblenda, neopechblenda, coffinita (minerales negros), luego gummita, uranotilo y autunita.

Los movimientos tectónicos póstumos, si bien de amplitud redu

cida, son frecuentes: ellos han favorecido la difusión de productos uraníferos de alteración en las fisuras vecinas reactivadas, tomando de esta manera el aspecto de mineralización en "amas" de impregnación. La abundancia de los productos negros decrece con la profundidad, pero ellos jamás desaparecen totalmente; estos minerales negros se encuentran preferentemente en los "amás" muy fracturados y por lo tanto, muy frágiles. Las alteraciones actuales conducen a especies minerales secundarias.

2.- EXPLOTACION MINERA. CRONOLOGIA DE LAS OPERACIONES (Esquema Nº 3)

Los primeros indicios localizados en la zona de BRUGEAUD se remontan, como ya se ha dicho, a Junio de 1949. Inmediatamente fueron iniciados sondeos desde la superficie y en su mayoría se revelaron positivos.

Se decidió entonces continuar las investigaciones excavando una galería en el flanco de una colina, a partir de la cual fueron efectuados nuevos sondeos. Estos trabajos se desarrollaron durante el período 1951-1953.

A partir de esta fecha, la existencia de un yacimiento estaba prácticamente asegurada. Los relevamientos radimétricos demostraron a la vez una evolución favorable y creciente de los tenores, desde la superficie hacia las zonas profundas, y una estructura del yacimiento extremadamente compleja.

Se decidió entonces fijar como objetivo inicial, como punto de partida para el reconocimiento y evaluación de reservas, la construcción de un pozo de mina (pique). Esta construcción se inició en 1953.

El mineral, extraído primeramente en pequeñas cantidades, fue enviado a la Planta de tratamiento de "SIMO", próxima al sector más rico; el tenor promedio de uranio fue de alrededor de 1.000 ppm., con un valor de corte que indudablemente evolucionó en función de las dificultades económicas del momento, pero que siempre estuvo comprendido entre los 400 y 600 ppm.

Durante el período de construcción del pique, el mineral obligatoriamente extraído, de leyes menores que las señaladas, fue almacenado en grandes pilas (escombreras). Este mineral era considerado como estéril y no era conveniente, en consecuencia, hacerle ningún tratamiento. Por lo que sigue a continuación, veremos que ha sido de otro modo.

Los trabajos subterráneos duraron 15 años, desde 1953 hasta 1968. Paralelamente pero recién a partir de 1958, fueron emprendidos trabajos mineros a cielo abierto en BRUGEAUD OESTE y ESTE, que finalizaron en 1971.

Esta decisión, como se verá más adelante, no fue de ningún modo inútil porque la lixiviación "in situ" -que es el objeto de esta Comunicación- sólo pudo ser realizada gracias a los trabajos mineros subterráneos existentes, los cuales facilitaron la recuperación de soluciones lixiviantes enriquecidas e impusieron una cronología en las operaciones.

3.- LIXIVIACION "IN SITU" EN BRUGEAUD OESTE Y EN BRUGEAUD ESTE

3.1.- Generalidades

Hemos visto precedentemente la importancia de las fracturas en el yacimiento, sobre las cuales se produjo la depositación del uranio. Esto permitía presagiar una buena aptitud para la lixiviación.

Un estudio más detallado demostró que esa densa red de fracturas se ramificaba casi al infinito dando una verdadera porosidad a la roca ; los ensayos de laboratorio confirmaron la "mojabilidad" del granito y, por consecuencia, el fácil contacto entre el uranio depositado en esas diaclasas y la solución lixiviante.

Es preciso añadir igualmente que ensayos sobre granulometrías groseras (de 30 mm) antes de iniciar la lixiviación en pilas, tuvieron excelentes rendimientos de recuperación (en general superiores a 85 % para los tenores promedio de 450 ppm.)

Todas estas razones: las observaciones previas sobre el granito, verificación a escala pequeña sobre el mineral poco fragmentado, nos parecieron ampliamente suficientes para considerar las operaciones de recuperación complementarias del uranio "in situ".

Previamente, ya hacia el final de los trabajos mineros subterráneos, es decir en 1967, se procedió al anegamiento de las galerías de las minas. Es por consiguiente en esta época que fue prevista toda la instalación de lixiviación necesaria y que será descrita más adelante (sistema de riego, bombas, tuberías, etc.). Estas operaciones finalizaron en 1971 y fueron acompañadas por la lixiviación "in situ" de paredes y del piso de la mina a cielo abierto de BRUGEAUD ESTE.

3.2.- Instalaciones de lixiviación (Esquema Nº 4)

A partir de dos piletas de almacenamiento, de capacidad unitaria próxima a 750 m³, revestidas de caucho butílico y alimentadas directamente con ácido sulfúrico, se vehiculiza el agua acidulada a 10 g/l por medio de bombas centrífugas. Una red de tuberías de polietileno de 50 mm de diámetro, sobre las cuales se fijaron regadores en los extremos de tubos de acero inoxidable, para posicionar mejor dichos regadores en los puntos de riego (especialmente en las cimas de las paredes), ha sido dispuesta así:

- en las galerías de las minas, durante la inundación de ellas ;
- sobre los circuitos de la tubería, en las minas a cielo abierto
- sobre el piso de la mina a cielo abierto de BRUGEAUD ESTE.

El agua acidulada circula por gravedad en la masa granítica. Siguiendo la zona lixiviable, las soluciones circulan sobre las paredes, el zócalo de la mina a cielo abierto y por las galerías subterráneas, y confluyen finalmente en las galerías bases (a -120 m para BRUGEAUD OESTE y a -245 m para BRUGEAUD ESTE).

Es por consiguiente a partir de estos niveles y cualquiera que sea la zona lixiviada, que la recuperación de soluciones ricas se efectuará.

Para evitar una circulación anárquica de dichas soluciones en el nivel base, se construyó un muro-canaleta de hormigón con dos piletas recolectoras, a partir de las cuales dos bombas centrífugas en serie elevaban los licores uraníferos hacia la superficie. Según el caso, esas soluciones llegan a las piletas de almacenamiento primeramente mencionadas, que sirven de distribuidor de ellas (una parte de esos licores eran reciclados y la otra parte era dirigida hacia la Planta SIMO), o bien eran reciclados en su totalidad durante un cierto período para posteriormente ser trasegados en forma discontinua hacia la Planta.

Todavía se pueden añadir algunas precisiones:

- a) La alimentación de ácido sulfúrico a las piletas se aseguró mediante un depósito de ácido puro; de vez en cuando se utilizaron los efluentes ácidos de la Planta, provenientes de la extracción por solventes (refinados).
- b) A pesar de la diferencia de tamaño entre los dos yacimientos (Oeste y Este) hay entre ambos una gran similitud en su explotación: minas subterráneas, minas a cielo abierto, etc.

Es de hacer notar, sin embargo, dos diferencias para la lixiviación "in situ":

- 1º) La lixiviación "in situ" de galerías subterráneas, de las paredes y del zócalo de la mina a cielo abierto, fue hecha separadamente en BRUGAUD ESTE, pero globalmente en BRUGAUD OESTE.
- 2º) Fueron necesarios trabajos mineros complementarios para efectuar la lixiviación del piso de la mina a cielo abierto de BRUGAUD ESTE.

3.3.- Lixiviación "in situ" de BRUGAUD OESTE en las galerías subterráneas, las paredes y el piso de la mina a cielo abierto.
(Esquemas Nos. 4 y 5)

Las dimensiones aproximadas de la mina a cielo abierto, son las siguientes:

-- Profundidad	35 m
-- Diámetro del fondo	30 m
-- Diámetro de la corona de las paredes	70 m
-- Circunferencia aproximada de la corona de las paredes..	210 m
-- Superficie de riego	3.850 m ²

El regado con la solución acidulada fue efectuada sobre toda la superficie superior para lixiviar a la vez las paredes y los fondos de la mina. Los licores eran recuperados en el nivel -120 m, donde se construyó la canaleta de hormigón e instaladas las bombas centrífugas. Los tenores promedio en uranio de los líquidos enviados a la Planta SIMO fueron de alrededor de 70 mg/l ; el volumen total de 400.000 m³ , lo que permitió la recuperación de 27,5 tn de metal.

3.4.- Lixiviación "in situ" de BRUGAUD ESTE

3.4.1.- Lixiviación de las paredes (Esquema Nº 5)

Recordamos las dimensiones aproximadas de la mina a cielo abierto:

-- Profundidad	m
-- Piso en forma de elipse, de semi-ejes	30 y 50 m
-- Superficie del piso de la mina a cielo abierto	5.000 m ²
-- Circunferencia de la corona de las paredes, aprox. ...	1.400 m

Las operaciones de lixiviación tuvieron comienzo en 1971 para finalizar en 1977; 1.200.000 m³ de soluciones ricas en uranio fueron enviadas a la Planta SIMO. El tenor promedio en uranio estaba comprendido entre 60 y 70 mg/l, lo que permitió la recuperación de 75,3 tn de uranio con un consumo de 111,5 kg de ácido por kg de uranio recuperado.

3.4.2.- Lixiviación "in situ" del piso de la mina (Esquemas Nos. 5 y 6)

El piso de la mina tiene una forma elíptica (semi-ejes: 30 y 50 m) y una superficie aproximada a los 5.000 m². El inundado de las galerías subterráneas fue hecho previamente, limitando el volumen a lixiviar (ver Esquema Nº 5) a la parte comprendida entre el piso de la mina a cielo abierto y la galería situada inmediatamente debajo. La diferencia de nivel entre estos dos puntos (piso y galería) es de 30 m, y condujo a un volumen global próximo a los 150.000 m³.

Para recuperar el uranio de esta parte, no fue satisfactorio un sólo riego de impregnación simple sobre el piso de la mina. En efecto, las características del terreno y la presencia de fracturas importantes, hacían temer una circulación preferencial de las soluciones ácidas y, por consecuencia, una impregnación irregular. Es por ello, habida cuenta de las cantidades de uranio a recuperar, que se decidió fragmentar la roca para recuperar el uranio.

Para ello, con barrenos verticales (Esquema Nº 6) de aproximadamente 150 mm de diámetro, la roca fue perforada para colocar las cargas explosivas necesarias para quebrantarla. Esta operación complementaria representó un gasto que si bien aumentó el precio del uranio recuperado, éste quedó reducido como veremos, a un nivel razonable. Después de la explosión, sólo se observó un ligero solivantamiento del zócalo.

La lixiviación de esta parte comenzó en 1977 y finalizó en Junio de 1978. El volumen de soluciones ricas enviadas a la Planta fue de 400.000 m³; el tenor en uranio fue de 70 mg.l y el consumo de ácido, de 50,3 kg/kg.U. Se recuperaron de este modo 5,2 tn de uranio.

4.- BALANCE

4.1.- Cantidades de uranio recuperadas

La explotación y la recuperación de uranio a partir de los yacimientos de BRUGAUD fueron terminadas a mediados de Junio de 1978. Es por consiguiente posible hacer un balance preciso y medir la contribución dada por la lixiviación "in situ".

La cantidad total de uranio recuperada a partir de los dos yacimientos, se elevó a 2.306, 6 tn.

Ellas se repartieron así:

<u>-- Uranio tratado en Planta:</u>	<u>En toneladas</u>
- a partir de minerales subterráneos	304
- a partir de minerales de mina a cielo abierto ..	1416
Esto hace un total de	1.720
 <u>-- Uranio recuperado por lixiviación en pilas:</u>	
- de áreas no preparadas (escombreras)	95,3
- de áreas preparadas	296
O sea un total de	391
 <u>-- Uranio recuperado por lixiviación "in situ":</u>	
- Inundación de las galerías subterráneas (ello comprende paredes y piso de la mina a cielo abierto de BRUGEAUD OESTE)	98,4
- Paredes de BRUGEAUD ESTE	75,3
- Piso de la mina a cielo abierto de BRUGEAUD ESTE	25,2
Lo que hace un total de	195,3

lo que representa para la lixiviación "in situ", aproximadamente, un 9 % del total.

4.2.- Gastos efectuados (paredes y fondo de la mina BRUGEAUD ESTE)

4.2.1.- Tabla de Gastos

	Uranio recuper. Kg.U		Gastos de Tratamiento		
			Totales en FF. <small>Corrientes</small>	Por Kg.U en FF. <small>Corrientes</small>	Por Kg.U <small>FF/78</small>
	Paredes	Piso			
1972	10.058				(
73	11.621				(57 (')
74	10.854				(
1975	13.193		800.252	60,7	79
76	18.198		571.828	31,0	37
77	11.405	9.372	1.037.519	50,0	55
1978	11.405	15.841	601.856	38,0	38
(') Estimado					

4.2.2.- Análisis de Costos

El costo promedio de tratamiento para la lixiviación de las paredes es de 57 FF. (FF. 1978). Este precio está sensiblemente ligado al consumo de ácido y al tenor en uranio de los licores expeditos hacia la Planta. Este tenor evolucionó de un año a otro y explica las diferencias observadas con respecto al promedio.

Para la lixiviación del fondo de la mina BRUGEAUD ESTE, el costo promedio de tratamiento es de 44 FF. (FF. 1978).

Es necesario agregar los costos ocasionados por los trabajos mineros complementarios (barrenado/voladuras), que se elevaron a 861.000 FF. (FF/77), o 947.700 FF/78 o 35 FF/Kg. U , o sea un total de 97 FF.

En definitivas, se pudieron obtener dos cifras, expresadas en FF/78 , por Kg de U :

- precio de costo del uranio recuperado por lixiviación "in situ", sin trabajos mineros previos ...(') 57
- precio de costo del uranio recuperado por lixiviación "in situ", con trabajos mineros previos ...(') 79

- (') 22 FF la libra de U₃O₈ (453,6 g)
- (') 30 FF la libra de U₃O₈ (453,6 g)

CONCLUSIONES

Si nosotros hemos tenido cuidado al presentar esta Comunicación, no ha sido para llevar a vuestro conocimiento una experiencia muy original, aportando elementos nuevos sobre los métodos de explotación minera o de lixiviación, sino más bien para llamar la atención sobre la simplicidad, la eficacia de la lixiviación "in situ" de la comarca de los BRUGEAUDS, y el interés económico que se deriva de ello.

Simplicidad: El equipamiento necesario para la lixiviación es simple y de bajo costo. Además, nosotros hemos tenido la suerte de sacar provecho, por una parte de los trabajos mineros subterráneos, y por otra parte, de la proximidad inmediata de una Planta de tratamiento de mineral.

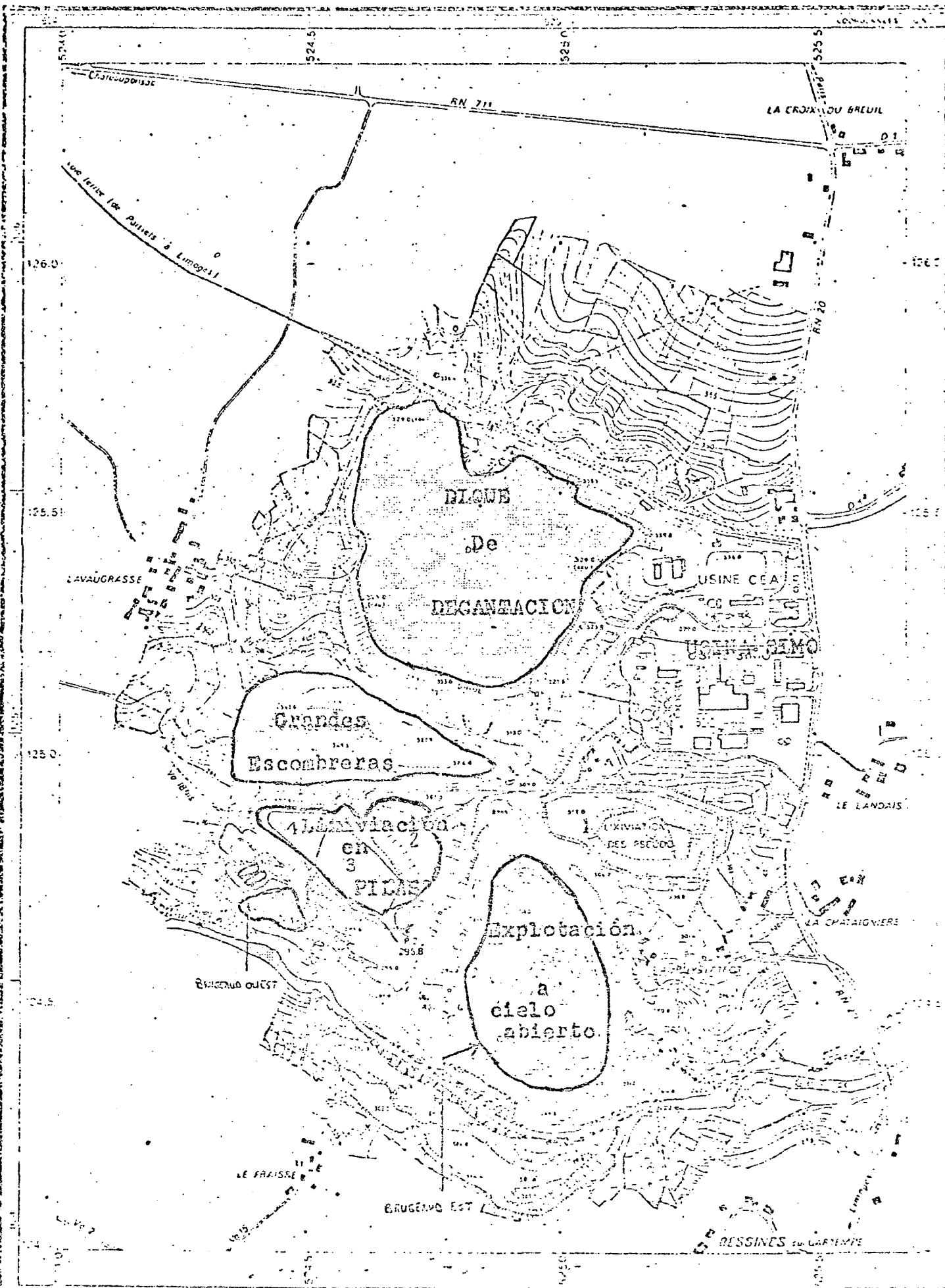
Eficacia: La recuperación complementaria de uranio por lixiviación "in situ" condujo a cantidades importantes, cerca de 200 tn , sobre un total de 2.300 . Esto indica que se trata de un procedimiento no desdeñable.

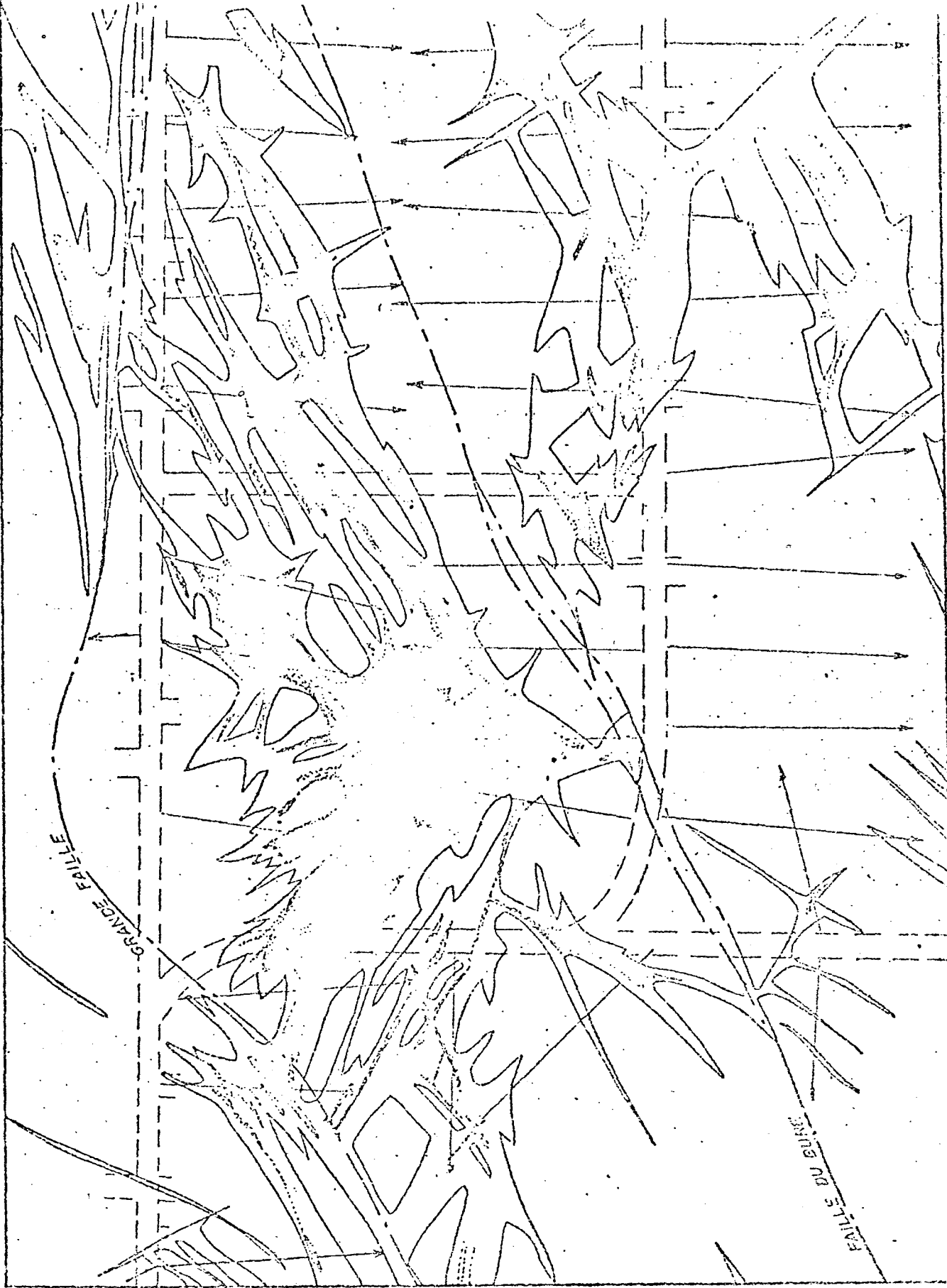
Interés económico: Nosotros no hemos tenido que soportar (en BRUGEAUD OESTE y en las paredes de BRUGEAUD ESTE) más que los costos del tratamiento químico de concentración y purificación ; por otra parte, a los costos análogos fué necesario agregar los gastos relativos a los trabajos mineros (barrenado y voladuras).

Los precios del uranio recuperado en estas condiciones se elevaron a 57 o 79 FF, según los casos, lo que demuestra el interés económico de la operación.-

BURNOS AIRES, Mayo de 1980.-

Tradujo: Perito Minero Oscar A. JOFRE - Gerencia de Exploración
Revisó : Sra. Elda SIDERAC de FABIANI - Gerencia de Planes
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA



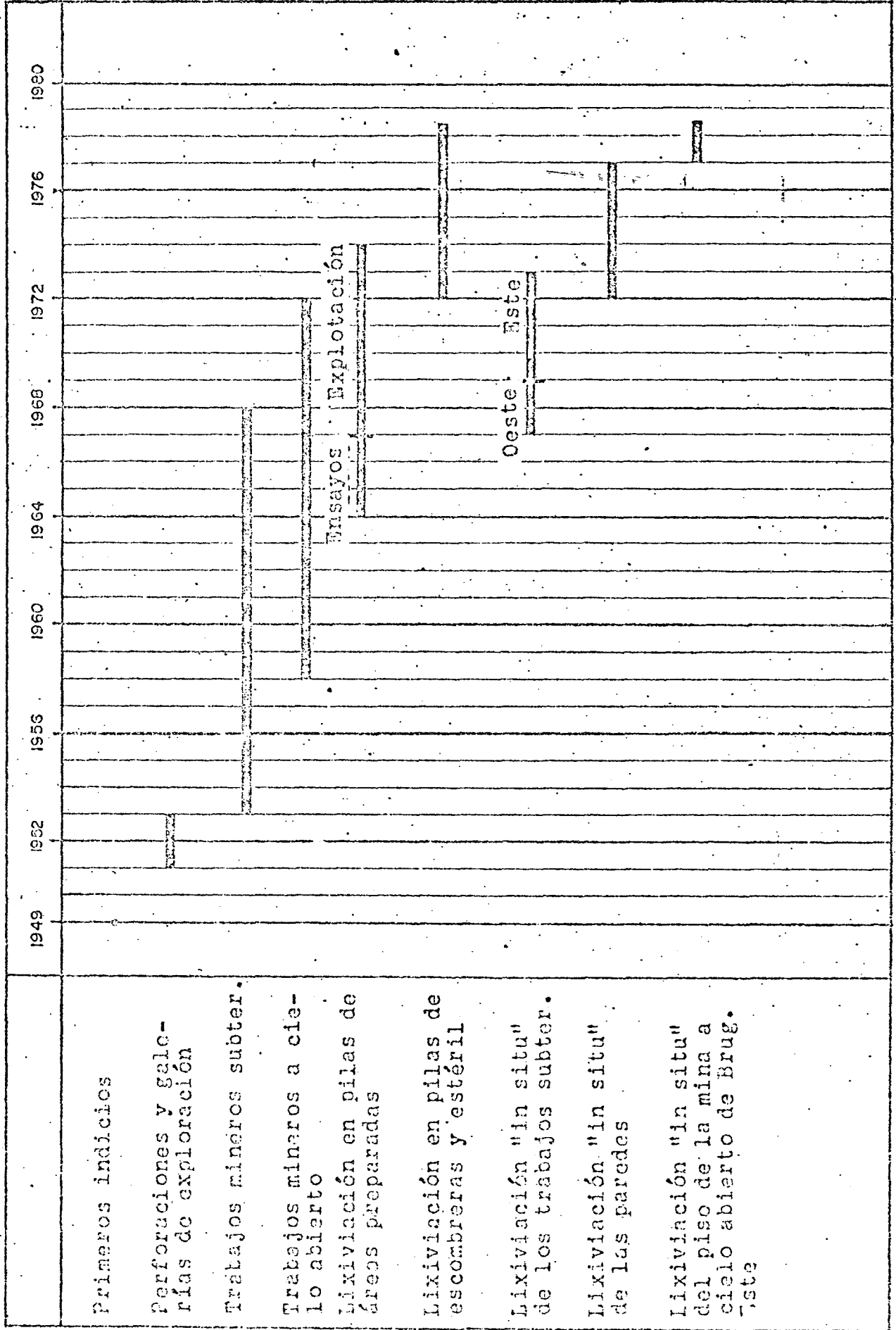


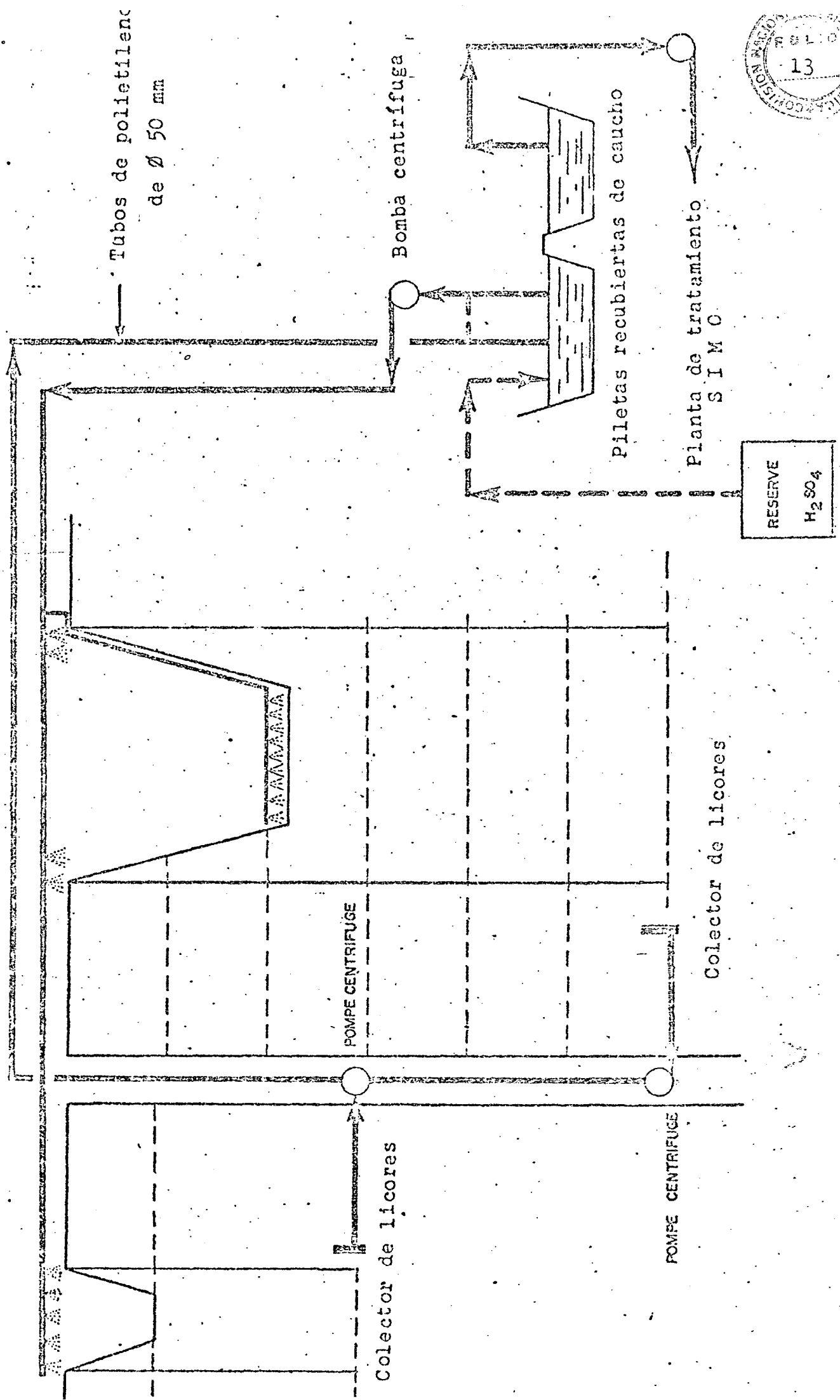
REFERENCIAS

- Tenor 0,95 %
- Tenor 0,5 %
- Tenor 0,1 %

Sondeos a percusión







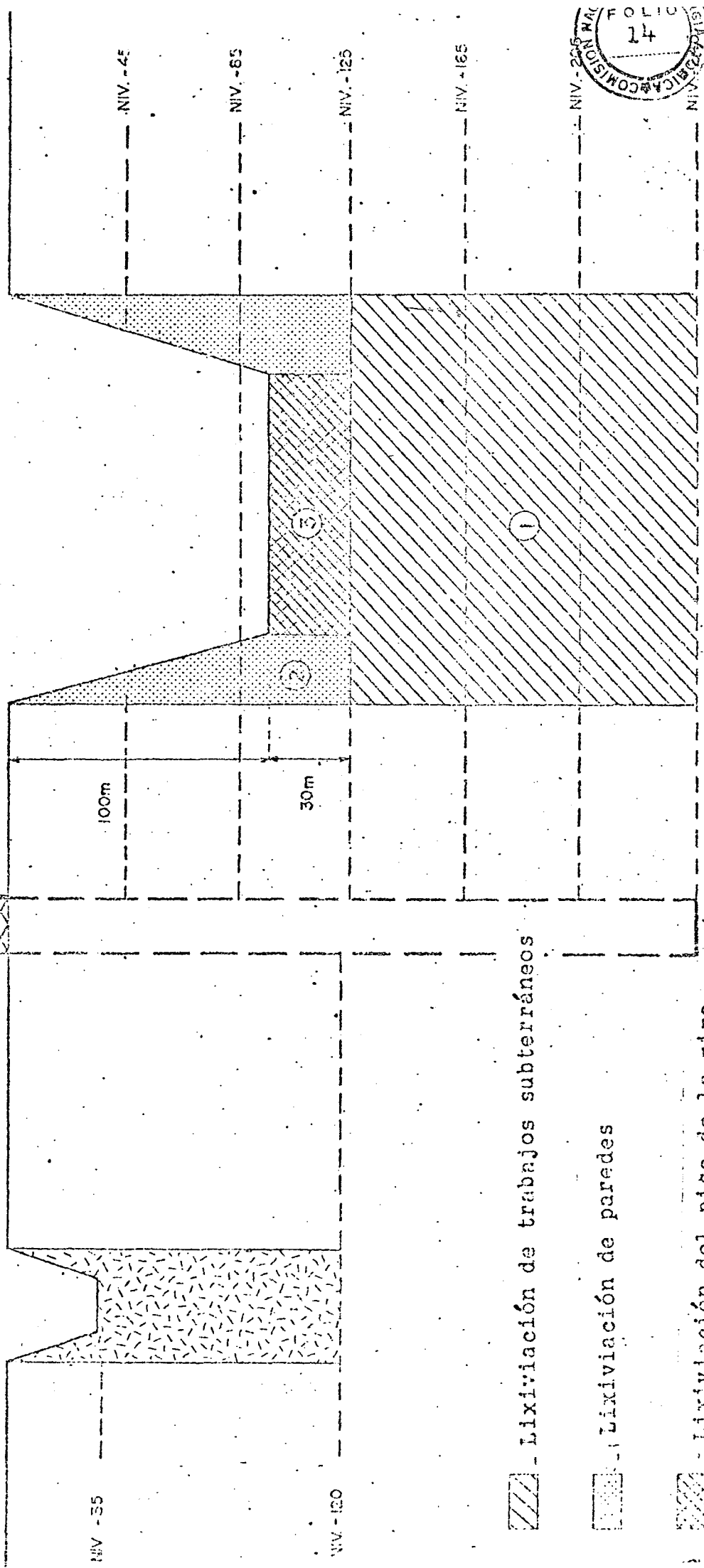
LOS BRUCEAUDS - ZONAS LIXIVIADAS "IN SITU"

ESQUEMA Nº 5



BRUCEAUD ORSTE

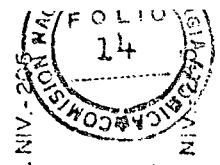
BRUCEAUD ESTE



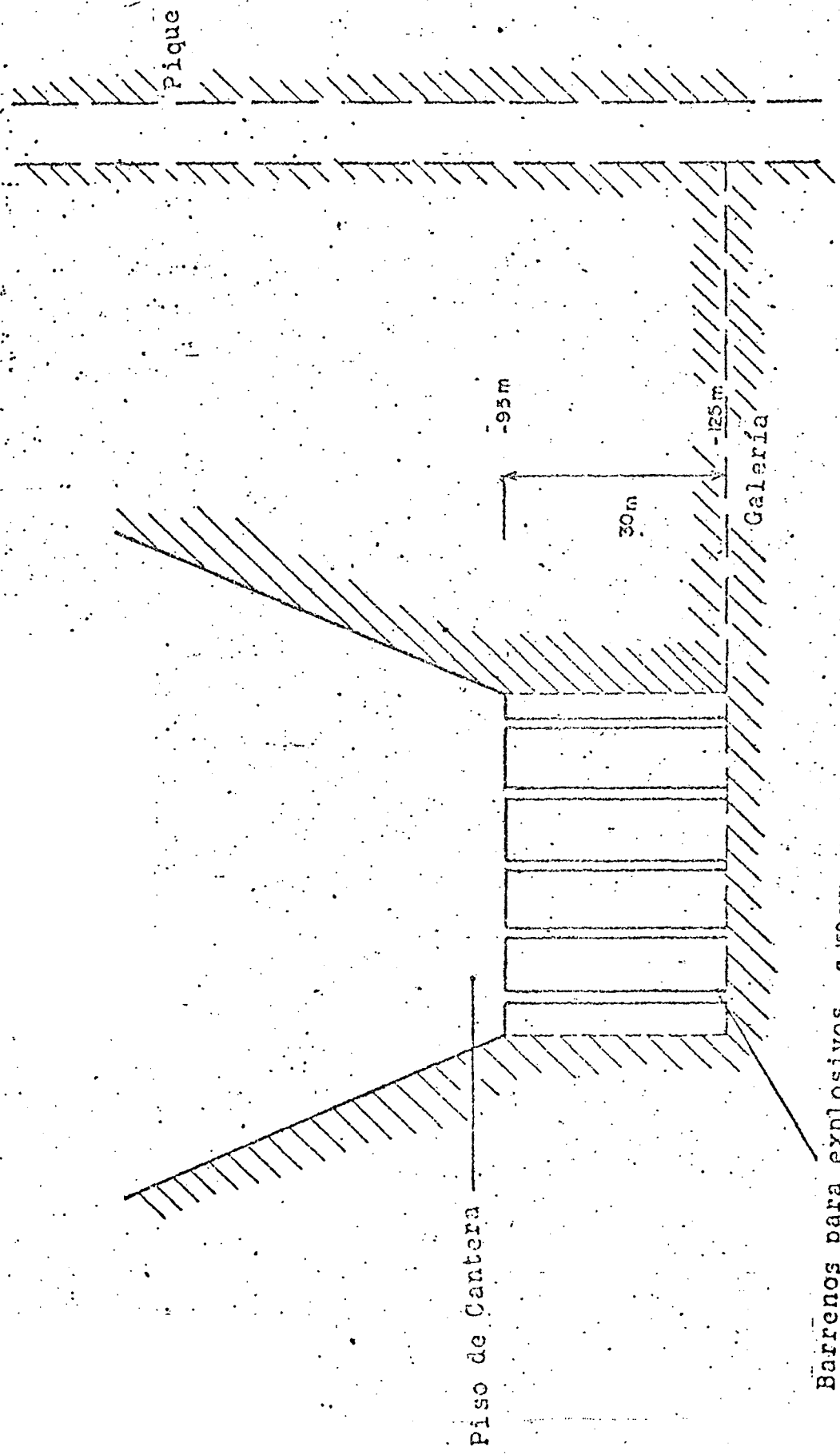
- Lixiviación de trabajos subterráneos

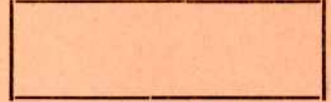
- Lixiviación de paredes

- Lixiviación del piso de la mina a cielo abierto (Bruceaud Este)



BRUCEAUD ESTE - VOLADURAS DEL PISO DE LA MINA A CIELO ABIERTO - ESQUEMA Nº 6





COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
GERENCIA DE MATERIAS PRIMAS

Minerales críticos

