

CAPITULO 2 ENSAYOS DE BENEFICIACION

2-1 Propósito

El propósito de este ensayo fue el de seleccionar el mas adecuado proceso de beneficiación para la recuperación del concentrado de cobre. Con tal motivo, los testigos de las perforaciones realizadas en el año de 1996 se trataron como muestras representativas del yacimiento mineral, por lo que estos testigos se utilizaron para los ensayos de beneficiación.

2-2 Método de Ensayo

2-2-1 Preparación de muestras

(1) Mena

Las menas utilizados en los ensayos fueron obtenidos de los testigos de perforación realizadas en el año 1996 (Pozos No. : MJJ-25, MJJ-26, MJJ-27, MJJ-28, MJJ-29, MJJ-30).

Los datos de los testigos son los siguientes:

1) MJJ-25 : Profundidad 100.00m hasta 140.00m

Granodiorita y pórfido granodiorítico, con silicificación y sericitización fuertes, con calcopirita, bornita y molibdenita relleno de fracturas y con bornita en forma diseminada.

2) MJJ-26 : Profundidad 110.00m hasta 150.00m

Granodiorita con silicificación y sericitización débil. La calcopirita y bornita rellenan las fisuras y se encuentran parcialmente en forma diseminada.

3) MJJ-27: Profundidad 320.00m hasta 340.00m y 344.00m hasta 364.00m

Pórfido granodiorítico con silicificación moderada y sericitización fuerte. La calcopirita, bornita y pirita rellenan las fisuras sin embargo, la calcopirita y bornita se encuentran diseminadas.

4) MJJ-28 : Profundidad desde 52.00m hasta 92.00m

Pórfido granodiorítico con silicificación y sericitización débil. La pirita, calcopirita, bornita y molibdenita rellenan las fisuras. En parte con granodiorita de silicificación y sericitización débil, la calcopirita y bornita rellenan las fisuras.

5) MJJ-29 : Profundidad 360.00m hasta 400.00m

Granodiorita con silicificación débil y sericitización moderada. Pirita, calcopirita y molibdenita rellenan las fisuras. Se observan pirita y calcopirita en forma diseminada en partes de granodiorita con silicificación moderada y sericitización fuerte.

6) MJJ-30 : Profundidad 320.00m hasta 370.00m

Granodiorita con silicificación débil y sericitización moderada. Pirita y calcopirita rellenan las fisuras. En partes de granodiorita con silicificación moderada y sericitización fuerte, se observan calcopirita y bornita en forma diseminada.

Para los ensayos de beneficio, los testigos de perforaciones arriba relacionados, se dividieron en dos partes, es decir, una de alta ley de cobre (mayor de 0.8% Cu, volumen de 58kg) y otra de baja ley de cobre (menor de 0.8% Cu, volumen de 120kg).

(2) Trituración de testigos

Para trituración de los testigos de perforación, se usaron tres unidades de máquina trituradora como sigue:

Chancadora de quijadas (ancho de abertura: 10mm)

Chancadora de quijadas (ancho de abertura: 5mm)

Rodillo triturador (ancho de abertura 0mm)

La trituración gruesa se realiza por Chancadora de quijadas de ancho de abertura 10mm y su producto se trata por otra Chancadora de quijadas de ancho de abertura 5mm para tener una trituración mas fina. Las muestras ya trituradas pasan a un cedazo de malla 10.5 y el producto de tamaño mayor que necesitan de trituraciones adicionales se pasan por rodillo triturador.

(3) Partición

En la preparación de muestras con peso de 2kg/saco se realiza una partición por partidore de muestras.

(4) Distribución de tamaño

Las muestras despues de trituradas son clasificadas por tamaño, utilizando máquina de criba vibratoria.

(5) Aparatos utilizados

Los aparatos utilizados en este trabajo de ensayo estan señalados en el Apéndice 11

2-2-2 Ensayo de propiedades físicas de la mena

Para la caracterización de la mena se realizaron determinados ensayos los cuales se describen a continuación. La cantidad de estos ensayos se indican en la Tabla I-1-2.

1) Gravedad específica

Se realizaron mediciones de gravedad específica en muestras con alta ley como también con baja ley de cobre.

2) Índice de trabajo

Se realizó determinación de índice de trabajo por medio de un molino de bolas para "Work Index", triturando muestras de alta ley y de baja ley de cobre. Para la trituración se utiliza chancadora de quijadas y rodillo triturador adaptados para tamaños menores de mal la 6.

3) Análisis químico

Se realizaron análisis químicos en muestras de alta ley y de baja ley. El total de los elementos analizados es 21, incluyendo los 5 elementos de Cu, Mo, As, Zn y Pb.

4) Observación microscópica

Se realizaron observaciones al microscopio por secciones delgadas en un total de 33 muestras. Las muestras son de menas, de producto de ensayo de trituración y molienda, de producto de ensayo básico de flotación y de producto de ensayo de re-molienda en flotación colectiva.

5) Ensayo por difracción por rayos X en polvo

Se realizaron determinaciones de minerales por el método de difracción por rayos X en 11 muestras de polvos de menas y de producto del ensayo básico de flotación.

6) Análisis EPMA

Se realizaron determinaciones de minerales por el método de análisis EPMA en 4 muestras de menas y en productos del ensayo básico de flotación. Las determinaciones se hacen sobre los minerales que se observaron ópticamente como la tennantita y la enargita.

2-2-3 Ensayo básico de beneficiación

Se realizaron los siguientes ensayos de beneficiación en menas con el objeto de clarificar las propiedades físicas de los minerales valubles y examinar las condiciones para una mejor recuperación. Los aparatos utilizados en los ensayos de beneficiación están señalados en Apéndice 25. Para este ensayo se utilizó agua de pozo del Laboratorio.

(1) Ensayo de trituración y molienda

Se realizó este ensayo para clarificar las propiedades físicas de la mena en las operaciones de trituración y molienda utilizando molino de bolas. En menas de alta ley se establecen tiempos de moliendas de 10, 15 y 20 minutos para obtener productos de óptima granulometría. En menas de baja ley, se establecieron tiempos de moliendas de 12 y 15 minutos basados en los resultados obtenidos en las menas de alta ley.

(2) Ensayos básicos de flotación

Los ensayos básicos de flotación se dividen en flotación desbastadora y flotación relavadora. El objetivo de este ensayo es el de determinar las propiedades físicas de la mena para la beneficiación. Con tal objeto, se hacen cambios a las condiciones de flotación, tales como adicionando un agente colector, un agente espumante y/o variando el pH.

La flotación relavadora se realiza 3 veces con tratamientos de relave por el método de "Release Analysis".

El flujograma de flotación desbastadora y de flotación relavadora está señalado en Figs II-2-1 and II-2-2.

- 1) El criterio de flotación desbastadora es el de colectar la fracción flotada en los tiempos de 1 minuto, 1 minuto, 1 minuto y 7 minutos totalizando 10 minutos con pH natural. Durante la flotación se agregan, respectivamente, un volumen normal de Aerofloat #208 como agente colector y Aceite de pino #10 como agente espumante.
- 2) Se cambia a uso de Aerofloat #3477 como agente colector en flotación desbastadora.
- 3) Cambio para condiciones de alto pH, adicionando $\text{Ca}(\text{OH})_2$, en flotación desbastadora.
- 4) Se adiciona CMC como dispersador para controlar la flotabilidad de gangas en flotación desbastadora con alto pH.

(3) Ensayo de flotación colectiva Cu-Mo

En base a los resultados de ensayo básico de flotación, se realizaron ensayos de flotación colectiva para determinar el método más adecuado para flotación de mena.

Después de la molienda de mena se realiza la flotación desbastadora con alto pH, por adición de cal apagada y en seguida, se realiza la flotación relavadora. Previamente a la flotación relavadora, se realiza la re-molienda con tiempos de 3 minutos, 6 minutos y 9 minutos respectivamente, mezclándose en estas operaciones los concentrados de la flotación desbastadora. Estas mezclas consisten de dos etapas para mena de alta ley y de tres etapas para mena de baja ley. El flujograma para el ensayo de flotación colectiva Cu-Mo está señalado en la Fig II-2-3

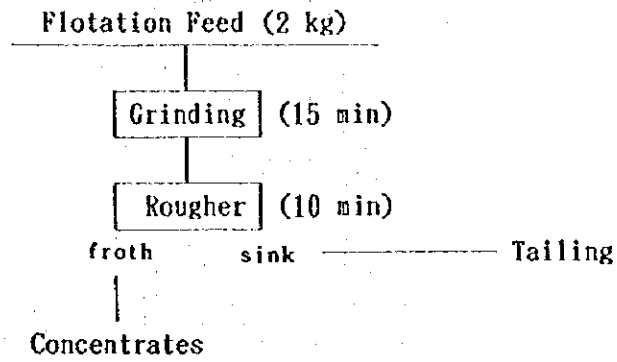


Fig. II-2-1 Flujograma de flotación desbastadora del ensayo básico de flotación

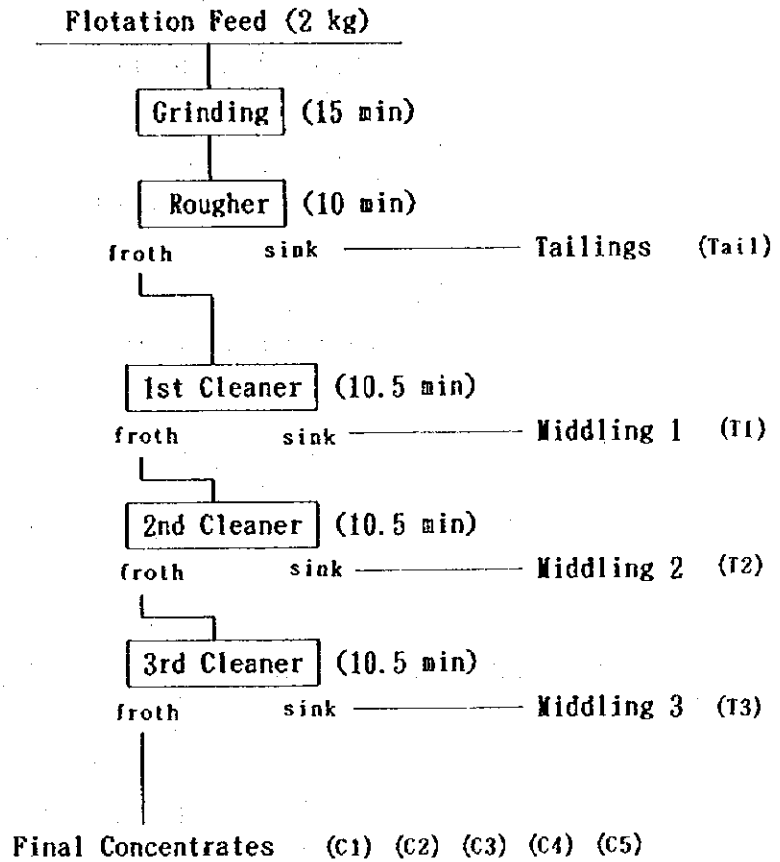


Fig. II-2-2 Flujograma de flotación relavadora del ensayo básico de flotación

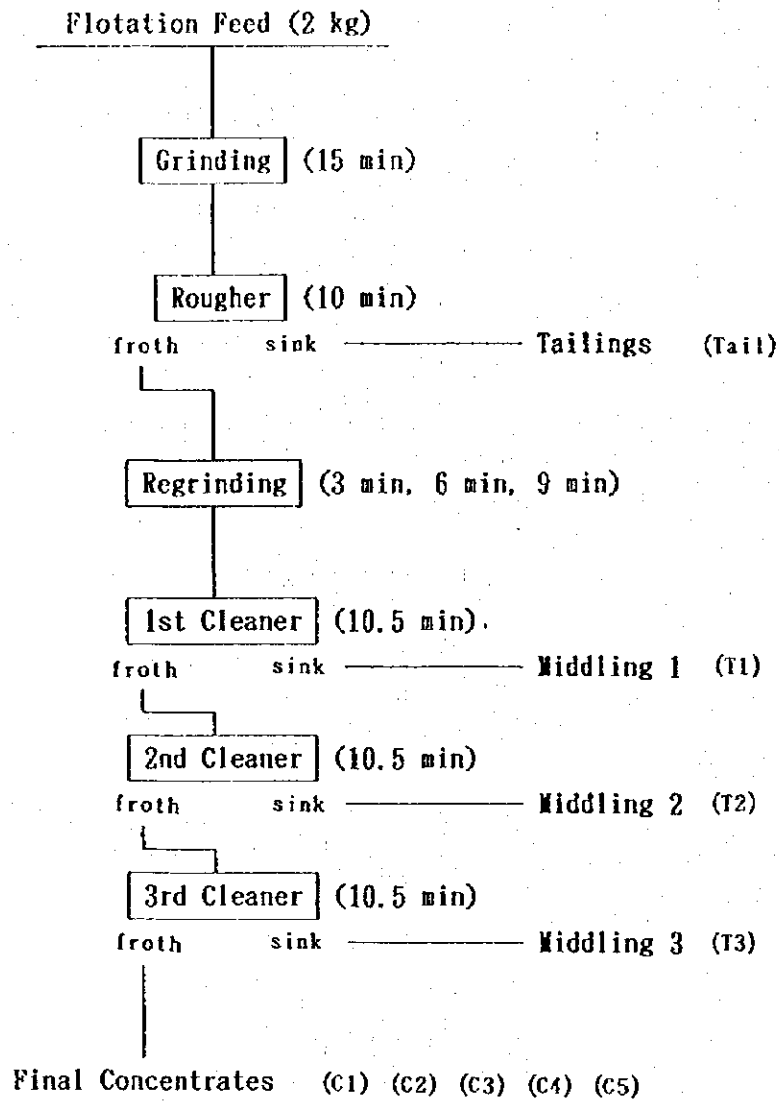


Fig. II-2-3 Flujograma del ensayo de flotación colectiva

2-2-4 Ensayo de tratamiento de cola y de aguas de desecho

(1) Ensayo de sedimentación de cola

Después de colectar la fracción flotada en la flotación desbastadora de mena de alta ley y de baja ley, se realizaron los ensayos de sedimentación de cola en pasta de cola. El método de ensayo es como sigue:

Se toma la pasta de cola en cilindro de 1 litro y se adiciona coagulante catiónico. En seguida se agita verticalmente por un minuto, con velocidad de 15 veces/minuto usando barra de agitación. Las mediciones de velocidad de sedimentación se realizan midiendo la altura de sedimentación superficial de precipitados y los intervalos de tiempo transcurridos después de una agitación vertical por un minuto con velocidad de 8 veces/minuto y adición de coagulante de alta-molécula noniónico o catiónico. 30 minutos transcurridos después de la agitación se realiza la medición de pH y de densidad de material suspendido en la agua decantadora. Después de transcurridas 20 horas, se realiza la medición de sedimentación superficial de precipitados y se calcula la capacidad de sedimentación y presión volumétrica de los precipitados.

(2) Ensayo de aguas de desecho

La densidad del componente disuelto se calcula por análisis químico del agua de filtrado de cola de flotación desbastadora, de cola de flotación relavadora y del concentrado de flotación relavadora del producto de ensayo de flotación.

2-3 Resultados de Ensayo

2-3-1 Ensayo de propiedades físicas de la mena

(1) Medición de gravedad específica

Durante la medición de la gravedad específica, se obtuvieron los promedios de 2.725 para mena de alta ley y de 2.651 para mena de baja ley. Los resultados de estas medidas se indican en el Apéndice 13.

(2) Determinación de Índice de Trabajo

Se obtuvieron índices de trabajo, respectivamente de, 17.50 kW/t para mena de alta ley y de 14.92 kW/t para mena de baja ley. Ambas menas, de alta ley y de baja ley, son rocas medianamente duras, necesitando la mena de alta ley de mas energía para triturar que las de mena de baja ley. El resultado de estas medidas se indican en el Apéndice 14.

(3) Análisis químico

Para el análisis químico de menas para ensayo, se determinaron los siguientes componentes principales. Otros componentes se señalan en Apéndice 15.

	Mena de alta ley	Mena de baja ley
SiO ₂	71.53%	71.18%
Cu	0.84%	0.25%
Mo	0.0162%	0.0074%

(4) Observación microscópica

Los siguientes resultados se obtuvieron por las observaciones al microscopio de secciones pulidas de mena:

1) Mena (testigos de las perforaciones)

En las menas de alta ley (MJJ-27-338, MJJ-28-82, MJJ-29-388 y MJJ-30-350) se encuentran diseminación de bornita (tamaño de 10 hasta 400µm), calcopirita (tamaño de 10 hasta 400 µm) y pirita (tamaño de 50 hasta 200µm). La presencia de pirita es mayor que la cantidad de bornita y calcopirita. La presencia de hematita es mediana y la cantidad de molibdenita es débil. En las vetas de cuarzo se observa que la bornita (tamaño de 1000µm) co-existe con la calcopirita (tamaño de 1000 µm).

En las menas de baja ley (MJJ-25-138 y MJJ-26-138), se encuentran diseminaciones débiles de bornita (tamaño de 10 hasta 200 µm), calcopirita (tamaño de 10 hasta 200 µm) y hematita (tamaño de 20 hasta 80 µm). En vetas de cuarzo se observa poca molibdenita y hematita.

2) Producto de ensayo de trituración y molienda

En relación a los productos de ensayos de trituración y molienda, tanto de menas de alta ley como de baja ley, los resultados del cálculo entre la razón del mineral liberado y mineral no liberado para cada tipo de mena son como sigue:

	Mena de alta ley					
Malla	>100	100-150	150-200	200-280	280-350	<350
Mineral liberado	24.7%	43.9%	84.3%	83.8%	92.7%	99.3%
Mineral no liberado	75.3%	56.1%	15.7%	15.9%	7.3%	0.6%

Mena de baja ley

Malla	>100	100-150	150-200	200-280	280-350	<350
Mineral liberado	30.3%	60.0%	84.3%	91.4%	95.7%	99.4%
Mineral no liberado	69.5%	40.0%	15.7%	8.7%	4.3%	0.4%

Para granulometría de menos de 150 mallas, el grado de liberación resulta alto para ambas tipos de menas, tanto de alta ley como de baja ley. Para menas de cobre de alta ley, el mineral liberado es 34.0% y el mineral no liberado es 11.6%. Para menas de baja ley, el mineral liberado es 51.0% y el mineral no liberado 13.7%. Para granulometría menor de 200 mallas, el mineral liberado es 33.0% y el mineral no liberado 10.0% para menas de alta ley, sin embargo, el mineral liberado para menas de baja ley es de 67.9% y para el mineral no liberado de 8.7%. Triturando para granulometría de menos de 200 mallas, se puede disminuir dicho porcentaje en menos de 10% de mineral de cobre no liberado. El resultado de estas observaciones se indican en el Apéndice 18.

3) Producto del ensayo básico de flotación

Las observaciones microscópicas de los productos de ensayo básico de flotación para menas de alta ley y de baja ley indicaron que el grado de liberación del mineral de cobre en concentrado de flotación es alto y que los minerales de cobre presentan una combinación de grano fino. De esta forma, es posible la separación del mineral de cobre, pirita y ganga.

La molibdenita, en forma de laminilla se presenta liberada.

La tabla que indica la frecuencia de tamaño de grano para cada mineral se muestra en Apéndice 19.

Mena de alta ley

T11-C1 (No. de la prueba: T11, concentrado de la flotación relavadora 1: C1)

Se encuentran calcopirita, bornita, calcocita, tennantita, molibdenita, pirita y ganga. La calcopirita y bornita son mayormente liberadas. También se observan el grano mineral con combinaciones tipo calcopirita-bornita, calcopirita-tennantita y bornita-calcocita. La molibdenita se encuentra liberada y la pirita es mayormente liberada pero ocasionalmente forma concentraciones con minerales de cobre. Los granos mayores de mineral se liberan ya que el 81.3% del total es menor de 280 malla.

T11-C2 (No. de la prueba: T11, concentrado de la flotación relavadora 2: C2)

Mucha similitud con T11-C1, sin embargo la proporción de granos finos es mas reducido.

T11-C34(No. de la prueba:T11, mezcla del concentrado de la flotación relavadora 3 y 4:C3,4)

Sus minerales constituyentes son similares al T11-C1, sin embargo, la proporción de granos finos es mayor y los granos de ganga son mas gruesos. En ganga gruesa, se incluyen minerales de sulfuro y hematita.

T11-T123 (No. de la prueba: T11, mezcla del concentrado de la flotación relavadora 1, 2 y 3:
T1,2,3)

Se encuentra mucha ganga y pocos granos finos de minerales de sulfuro. La mayor parte de los minerales de sulfuro es pirita y se encuentran esporádicamente calcopirita y bornita. Ganga de grano grueso incluye minerales de sulfuro y hematita.

T11-Cola (No. de la prueba: T11, cola de la flotación desbastadora: Cola)

Compuesto principalmente de ganga y debilmente algunos granos muy finos de pirita, hematita, minerales de cobre y molibdenita.

Mena de baja ley

T12-C1 (No. de la prueba: T12, concentrado de la flotación relavadora 1: C1)

Principales minerales liberadas son calcopirita, bornita y pirita. Se observa granos de minerales combinados con bornita y tennantita. La molibdenita esta en forma de laminilla. La distribución del tamaño de los granos es similar al T11-C1.

T12-C234 (No. de la prueba: T12, mezcla del concentrado de la flotación relavadora 2, 3 y 4:
C2,3,4)

Calcopirita, pirita y molibdenita son minerales liberados. Bornita es liberado en su mayoría pero se observa agregados con otros minerales de cobre. En ganga de grano gruesa se incluye calcopirita y bornita.

T12-T123 (No. de la prueba: T12, mezcla del concentrado de la flotación relavadora 1, 2 y 3:
T1,2,3)

Esta formado por abundante ganga, sin embargo se observa poco grano muy fino de calcopirita, bornita, pirita y hematita.

T12-Cola (No. de la prueba: T12, cola de la flotación desbastadora: Cola)

Mayormente ganga. Tamaño de grano de ganga es de 200 - 1,000 μ m. Los minerales de sulfuro estan incluidos en la ganga con un tamaño de grano de 3-15 μ m . Se encuentra hematita y magnetita en tamaños de granos de 3-30 μ m .

4) Producto de ensayo de re-molienda de flotación colectiva

Sobre los concentrados con diferentes tiempo de re-molienda (3 minutos, 6 minutos y 9 minutos) proveniente de ensayos de flotación colectiva, se llevan a cabo observaciones de la frecuencia en que se producen los diferentes tamaño de grano tomando en cuenta su condición.

Como resultado, calcopirita y pirita son abundantes en la primera flotación relavadora, sin embargo, se reducen durante la segunda flotacion relavadora. Bornita y ganga resultan en poca cantidad durante la primera flotación relavadora pero se observa tendencia a aumentar en las segunda flotacion relavadora. Un resumen de los resultados de dichas observaciones es como se detalla a continuación. Las frecuencias para producir diferentes tamaños de granos estan indicadas en Apéndice 20

T21-C1(No. de la prueba: T21, concentrado de la flotación relavadora 1: C1)

Tamaño de grano es generalmente pequeño de tal modo que el tamaño de malla de menos 280 es 83.10%. El mineral constituyente se encuentra en la relación de: calcopirita 48.4%, mineral de cobre 35.9%, pirita 8.7%, molibdenita 5.4% y ganga 1.5%. Una parte de molibdenita no se encuentra liberada.

T21-C2 (No. de la prueba: T21, concentrado de la flotación relavadora 2: C2)

Tamaño de grano es generalmente pequeño, siendo el 94.7% de malla de menos de 280. El mineral constituyente esta en la siguiente relación: calcopirita 30.3%, mineral de cobre 54.0%, pirita 4.7%, molibdenita 3.4% y ganga 7.8%. Calcopirita es menos abundante que en T21-C1 sin embargo, bornita es mas abundante. Una parte de molibdenita no se encuentra liberada.

T22-C1 (No. de la prueba: T22, concentrado de la flotación relavadora 1: C1)

Tamaño de grano es generalmente pequeño, siendo el 89.5% compuesto de grano de malla menos 280. El mineral constituyente esta en la razón de calcopirita 62.4%, mineral de cobre 27.2%, pirita 4.2%, molibdenita 5.3% y ganga 0.9%. Una parte de molibdenita no se encuentra liberada.

T22-C2 (No. de la prueba: T22, concentrado de la flotación relavadora 2: C2)

Tamaño de grano es generalmente pequeño con grano de malla de menos 280 en un 96.0%. Mineral constituyente esta en razón de calcopirita 34.5%, mineral de cobre 53.1%, pirita 4.1%, molibdenita 4.0% y ganga 4.4%. Una parte de molibdenita no se encuentra liberada.

T23-C1 (No. de la prueba: T23, concentrado de la flotación relavadora 1: C1)

Tamaño de grano es generalmente pequeño con grano de malla de menos 280 en un 91.4%. Mineral constituyente esta en la razón de calcopirita 46.5%, mineral de cobre 39.4%, pirita 7.2%, molibdenita 6.4% y ganga 0.4%. Una parte de molibdenita no se encuentra liberada.

T23-C2 (No. de la prueba: T23, concentrado de la flotación relavadora 2: C2)

Tamaño de grano es generalmente pequeño estando 96.0% formada de malla menos 280. Mineral constituyente está en razón de calcopirita 29.3%, mineral de cobre 56.3%, pirita 5.2%, molibdenita 2.9% y ganga 6.4%. una parte de molibdenita no se encuentra liberada.

(5) Análisis por difracción de rayos X en polvo

Se realizaron determinaciones minerales por el método de difracción de rayos X en muestras en polvo utilizando mena, concentrado, mineral no liberado y cola de ensayo de flotación para muestra de alta ley y ensayo de flotación para muestra de baja ley. Los resultados de difracción de rayos X en polvo están señalados en Apéndice 21. Como resultado de los análisis, la combinación de minerales resultó como sigue:

Mena

Cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y sericita son principales minerales. Entre ellos el cuarzo es el mas abundante. Además se encuentra poca cantidad de clorita.

Concentrado

En los concentrados C1 y C2 dentro del concentrado de la flotación relavadora, la calcopirita es mas abundante. En orden de abundancia también se encuentran la bornita, pirita y molibdenita. En los concentrados C3 y C4, la ganga se encuentra mezclada y se detecta cuarzo y sericita, además de calcopirita, bornita, pirita y molibdenita

Mineral no liberado

En el mineral todavía no liberado se encuentra, al igual que en el caso de la mena, cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, sericita y clorita.

Cola

En cola de flotación desbastadora, se encuentra cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, sericita y clorita al igual que para el caso de la mena.

(6) Determinación mineral por el método de EPMA

Como resultados de los análisis sobre los minerales que se observaron ópticamente como la tennantita y la enargita, se hizo la determinación de tales minerales como sigue. Resultados de dichos análisis se indican en el Apéndice 22.

Muestra	Mineral Constituyente	Resultado de determinación
No.1 T12-Cl	(Cu,Fe,Zn) ₃ (As,Sb)S _{3.5}	tennantita-solución sólida de tetrahedrita
No.2 MJ29-141.1	(Cu,Fe,Zn) ₃ (As,Sb)S _{3.5}	tennantita-solución sólida de tetrahedrita
No.3 "	(Cu,Fe,Zn) ₃ (As,Sb)S ₄	enargita
No.4 "	(Cu,Fe,Zn) ₃ (As,Sb)S _{3.5}	tennantita-solución sólida de tetrahedrita

2-3-2 Ensayo básico de beneficiación

(1) Ensayo de trituración y molienda

Los productos de molienda obtenidos por ensayo se comparan con la razón de distribución de la malla de menos 200 por cada tiempo de molienda.

	Tiempo de molienda	Razón de distribución de malla menos 200
mena de	10 minutos	51.9%
alta ley	15 "	75.2%
	20 "	97.5%
mena de	12 minutos	57.3%
baja ley	15 "	82.4%

Como resultado de este ensayo, se adoptaron 15 minutos para tiempo de molienda de ensayo básico de flotación y ensayo de flotación colectiva Cu-Mo. Los valores arriba mencionados son considerablemente grandes en tal modo que el valor promedio para malla - 200 es en general alrededor de 60%, indicando que son tan finos como el tamaño de grano en primera molienda.

Por consiguiente y tomando en cuenta el aspecto económico en el futuro, se considera necesario de estudiar otro ensayo utilizando un tamaño de grano mas grueso. Los resultados de ensayo de trituración y molienda se ilustran en el Apéndice 24.

(2) Ensayo básico de flotación

A partir del ensayo básico de flotación se obtuvieron los siguientes resultados de ley y de razón de recuperación sobre concentrado de flotación desbastadora.

		Ley de concent. Cu	Razón de recuperación Cu
Mena de alta ley	caso 1)	11.61%	97.9%
	caso 2)	14.08%	97.8%
	caso 3)	12.21%	98.9%
Mena de baja ley	caso 1)	3.24%	92.9%
	caso 2)	6.51%	89.1%
	caso 3)	5.07%	92.7%

Nota: caso 1): Adición de un volumen patrón de reactivo colector #208 y reactivo espumante #10 con pH natural.

Caso 2): Adición de un volumen patrón de reactivo colector #3477 y reactivo espumante #10 con pH natural.

Caso 3): pH alto.

En ambas menas, de alta ley y de baja ley, se observa tanto un incremento de ley de concentrado por la adición de Aerofloat #3477 como un mejoramiento en la razón de recuperación debido al alto pH. Además de estos dos factores, adicionando dispersador CMC para controlar ganga, se obtuvieron las siguientes ley de concentrado de flotación relavadora y razón de recuperación:

	Ley de concentrado Cu	Razón de recuperación Cu
Caso de mena de alta ley	38.4%	94.5%
Caso de mena de baja ley	29.2%	86.0%

La ley del concentrado de flotación relavadora y la razón de recuperación en mena de alta ley han proporcionado buenos resultados, agregando además que este tipo de mena posee características de fácil beneficiación. Además se puede también decir que la alta ley de concentrado es debido a inclusión de bornita.

(3) Ensayo de flotación colectiva Cu-Mo

Resultados de ensayo de flotación colectiva Cu-Mo se resumen a continuación.
Los resultados de los ensayos se indican en el Apéndice 26.

	Re-molienda	Ley de conc. Cu	Recuperación Cu	Ley de conc. Mo	Recuperación Mo
Mena de alta ley	3 minutos	36.81%	96.14%	0.4944%	68.08%
	6 minutos	37.08%	95.58%	0.5425%	67.88%
	9 minutos	39.68%	95.75%	0.5965%	75.09%
Mena de baja ley	3 minutos	28.92%	89.86%	0.7325%	70.79%
	6 minutos	30.53%	86.69%	0.7487%	67.47%
	9 minutos	31.23%	89.09%	0.8099	74.94%

Como se puede observar en el resultado arriba mencionado, el caso de 9 minutos de re-molienda resulta el mejor en tanto que indican ley de concentrado de flotación relavadora de mena de alta ley de 39.68% y de baja ley de 31.23%, indicando también una razón de recuperación de mena de alta ley de 95.75% y de baja ley de 89.09%. Se obtuvo además una alta razón de recuperación en la flotabilidad controlada de gangas. A lo anterior se puede agregar que alta ley de concentrado de flotación relavadora es debido a inclusiones de bornita.

2-3-3 Ensayo de tratamiento de cola y de aguas de desecho

(1) Ensayo de sedimentación de cola

Como resultado de estos ensayos, en caso de adicionar 10 g/l de coagulante catiónico solo, la velocidad de sedimentación durante la primera etapa resulta con valores bajos de menos de 1 m/h, sin embargo, la densidad del material suspendido del agua decantada resulta en 10-20 mg/l y además transparente. En caso de adicionar 10 g/l de coagulante noniónico solo, la velocidad de sedimentación durante la primera etapa resulta con valores de menos que 3-4 m/h, sin embargo, la densidad del material suspendido de agua decantada es 60 mg/l. En caso de usar ambos coagulantes de catiónico y de noniónico y adicionando 5 g/l, la densidad resulta con valores mayores de 50 a 100 mg/l.

El pH del agua decantada es de 9.8 a 10, pero casi se neutraliza por la adición de 20 a 25 g/t de H₂SO₄. Los resultados de estos ensayo se señalan en el Apéndice 27.

(2) Ensayo de las aguas de desecho

Como resultado de ensayo de agua de desecho, la densidad del componente disuelto resulta totalmente menor que los valores de la norma de desagüe en la República del Ecuador. Los resultados de ensayo se señalan en el Apéndice 27.

2-4 Análisis

2-4-1 Flujograma de flotación

Los resultados del ensayo básico de flotación realizados sobre la mena de alta ley incluyendo los resultados del ensayo de flotación colectiva Cu-Mo se resumen como sigue:

	Ley de cone. Cu	Recuperación Cu
Ensayo básico de flotación	38.4%	94.5%
Flotación colectiva		
(re-molienda 3 minutos)	36.8%	96.1%
(re-molienda 6 minutos)	37.8%	95.6%
(re-molienda 9 minutos)	39.7%	95.8%

En relación a los resultados de los 3 ensayos de flotación colectiva que se realizaron, el ensayo de flotación relavadora después de la re-molienda del concentrado de flotación desbastadora, indican respectivamente una tendencia de alta razón de recuperación en 1.1% mayor que los resultados de los ensayos básicos de flotación, lo cual es indicativo de una eficaz re-molienda.

A causa de lo anterior, la re-molienda se incluyó en los estudio de flotación. La Fig. II-2-3 ilustra el flujograma para el ensayo de flotación.

En la planta de beneficio que está en operación actual, no se obtiene el producto del mineral no liberado, sino que usualmente se trata otra vez el producto retornándolo a la respectiva etapa anterior del proceso, sin embargo, la fracción hundida de primera flotación relavadora es considerable en volumen, y de retornar a la etapa anterior del proceso, su operación se desordena bastante. Por tal razón, se considera práctico que se realice mas flotación utilizando flotadora de barrido, descargando hundidas con colas de flotación desbastadora afuera de la sección de flotación y retornando espuma sola a la etapa anterior del proceso. En la Fig.II-2-4 se señala el flujograma de flotación.

La mena que se utilizó en los ensayos básicos de molienda y de flotación colectiva Cu-Mo, fue el producto de la trituración y molienda con un tiempo de molienda de 15 minutos. En consecuencia, los tamaños de los granos utilizados fueron mas pequeñas que de costumbre

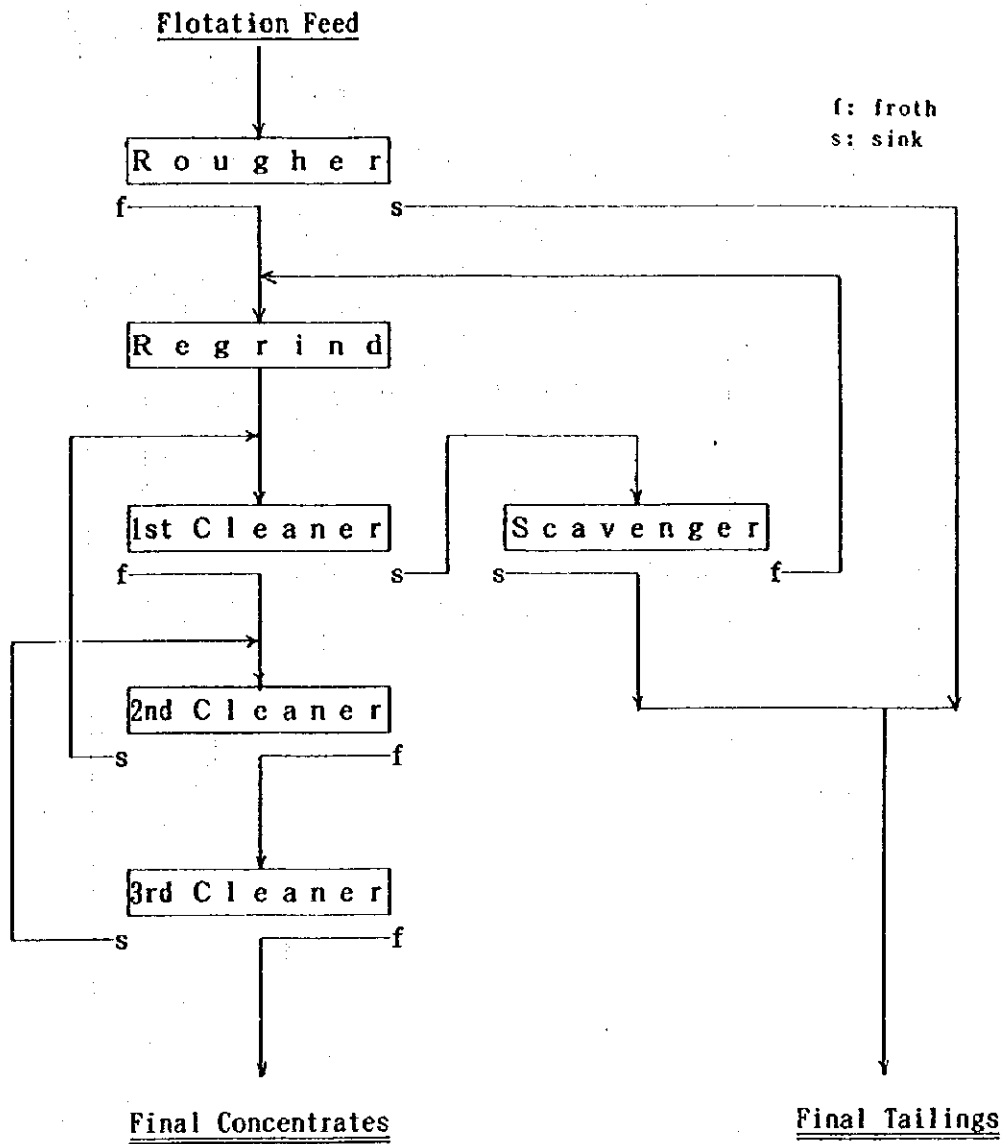


Fig. II-2-4 Flujograma de flotación (Plan 1)

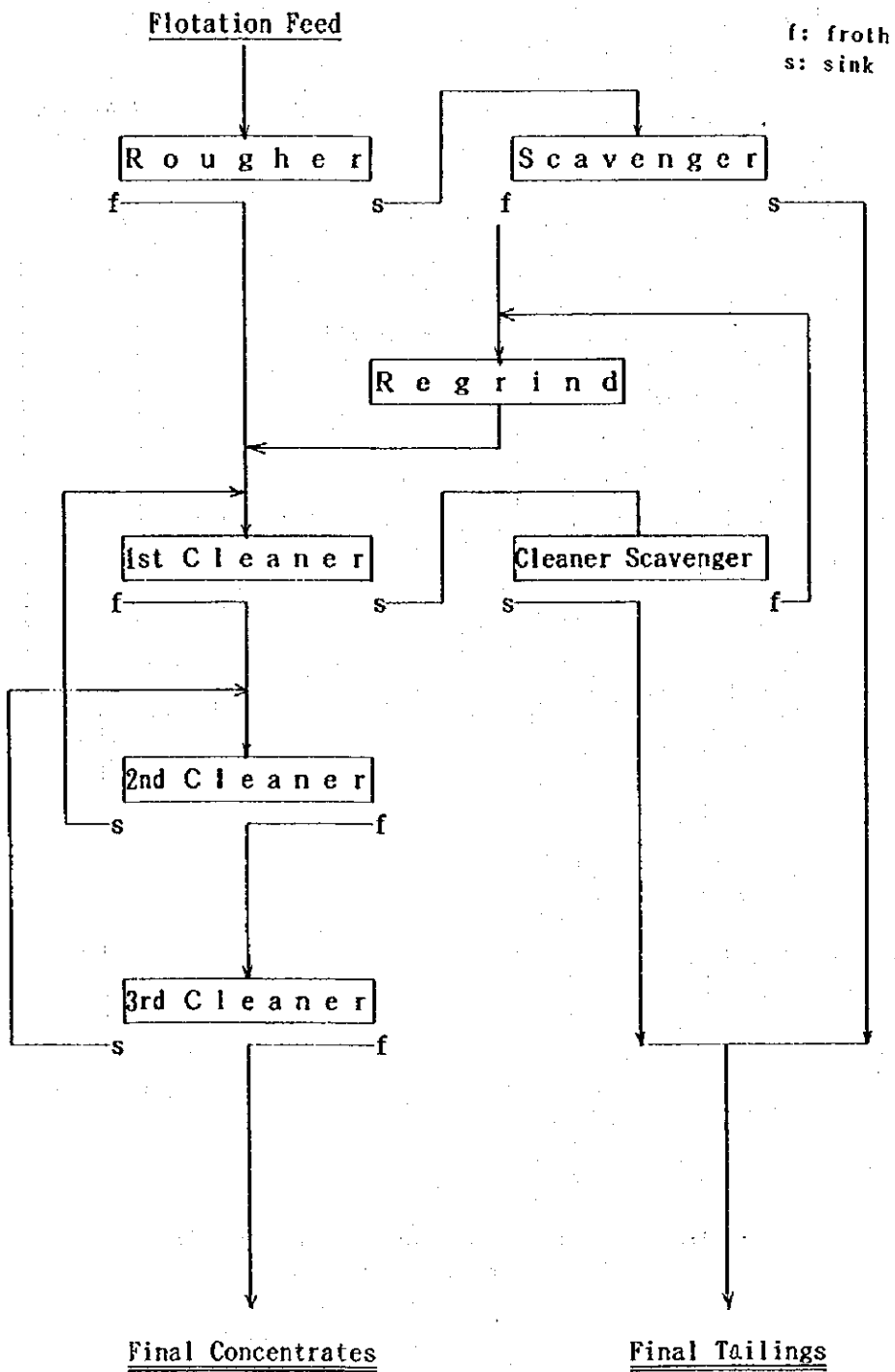


Fig. II-2-5 Flujograma de flotación (Plan 2)

(alrededor de 75% a menos 200 mallas). En caso de industrialización, que toma en cuenta el aspecto económico, se necesita de estudiar el ensayo de flotación para tamaños de granos mas gruesos. Especialmente el estudio de la velocidad de flotación es importante. Análisis de las espumas tomadas en determinados tiempos (muestras de concentrados C1 hasta C4) durante el ensayo de flotación relavadora básico, indicaron leyes mayores en C2 que en C1. Estos resultados indican que las ordenes de flotación de los minerales son: primero calcopirita, luego flotó la bornita y posteriormente el mineral no liberado. De los resultados de observación microscópica también se obtuvieron similares tendencias.

A partir de este proceso se considera generalmente que la parte que flota primero y que posee alto grado de liberación en espuma de flotación desbastadora, pasa directamente a la sección de flotación relavadora sin alimentar a la sección de re-molienda, en cuyo caso, la porción no liberada alimenta a la sección de re-molienda. Los anteriores considerandos se señalan en el plan mejorado de flujograma de flotación en la Fig.II-2-5.

2-4-2 Flujograma del proceso general

En este estudio, se asume que la forma de explotación es el de cielo abierto.

Las menas explotadas por el método a cielo abierto se transportan por camión a la máquina trituradora primaria que luego se desembragan en tolvas para la trituradora primaria.

Tradicionalmente la trituradora primaria se instala cerca de la planta de beneficio, sin embargo ultimamente la tendencia es la de introducir la trituradora en la fosa instalada dentro de fosa de cielo abierto. El producto de la trituradora primaria se deposita por sistemas de correa en promontorios de reserva de mineral grueso depositado fuera de la planta de beneficio.

La mena es extraída del promontorio de reserva por medio del alimentador y transportador de correa, luego se alimenta al molino SAG donde se lleva a cabo la molienda primaria. Este producto junto con el proveniente del molino de bolas se clasifican en ciclón. Tamaños mayores de ciclón se transporta al molino de bolas para llevar a cabo la molienda secundaria, mientras que las de menor tamaño de ciclón resulta ser la mena para flotación.

La mena alimentada se suministra a la flotadora de desbaste y su espuma se manda a la sección de limpieza. La fracción de precipitados se envía a la flotadora de barrido y se continua con mas flotación. El precipitado de la flotadora de barrido es en su mayor parte la cola final de flotación, mientras que su espuma se manda a la sección de re-molienda.

En la sección de limpieza se suministra espuma de flotación desbastadora y como producto de la sección de re-molienda para flotación de 3 etapas de flotadora de relave y espuma de tercera flotadora de relave resulta el concentrado final. Las espumas de tercera y segunda dentro de cada etapa de flotación relavadora, se mandan a la etapa anterior del

proceso de alimentación, sin embargo la espuma de primera flotación relavadora se procesa con mas flotación por medio de flotadora de barrido. Su hundida se trata como una parte de cola final, mientras que la espuma se manda a la sección de re-molienda.

En la sección de re-molienda, se conecta el molino de bolas y ciclón en circuito cerrado, en donde los fragmentos de tamaño menor de ciclón, que es el producto que viene de la sección de re-molienda se manda a la sección de flotación relavadora.

El concentrado final es decantado por espesador y deshidratado por filtro para transformarlo en una especie de 'cake' con un contenido de humedad del 10% y el cual finalmente se deposita en tolvas de reserva de concentrado. El flujograma del proceso general esta ilustrado en la Fig. II-2-6. Este flujograma se ha preparado en la premisa de que la mena explotada es adecuada para introducirla al molino SAG, sin embargo, considerando que este tipo de mena no sea el adecuada para el molino SAG, en la Fig.II-2-7 se ilustra otro flujograma para trituración y molienda por el método tradicional (Plan No.2).

2-4-3 Diseño conceptual de la planta de beneficio

Los resultados del estudio conceptual para un criterio de diseño para procesar un volumen promedio de tratamiento de alrededor de 10,000 toneladas/día se resume como sigue:

1) Programa de operación

Día de operación anual	365 días
Día de operación semanal	7 días
Hora de operación diaria	24 horas
Número de turnos por día	2 turnos
Horas de turno	12 horas
Rendimiento de equipo	
Trituración primaria	65%
Molienda y flotación	92%
Planta de filtración	92%

2) Equipo de trituración primaria

volumen promedio de tratamiento	10,000 toneladas/día
Rendimiento	65%
capacidad	650 toneladas/hora

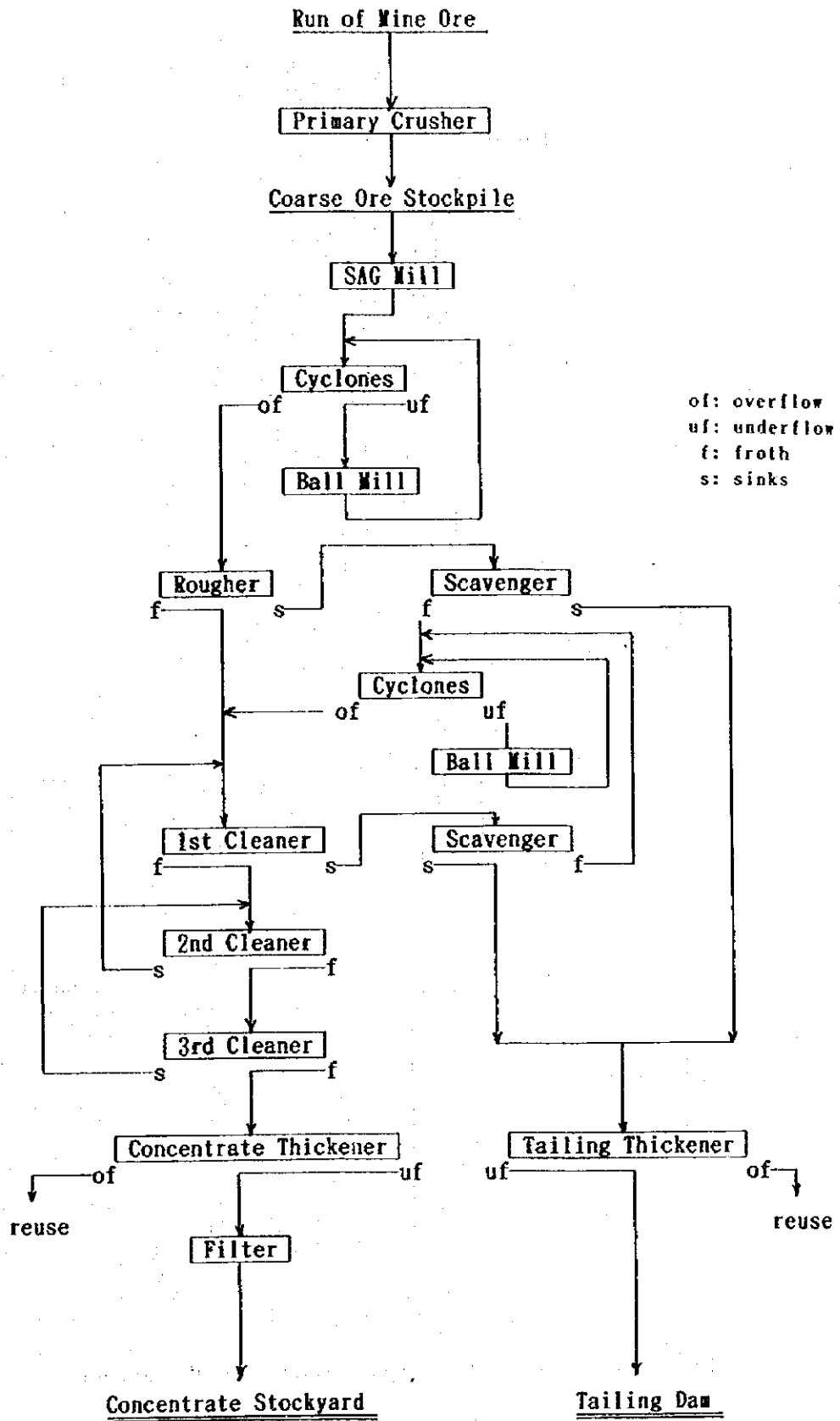


Fig. II-2-6 Flujograma del procesamiento en general

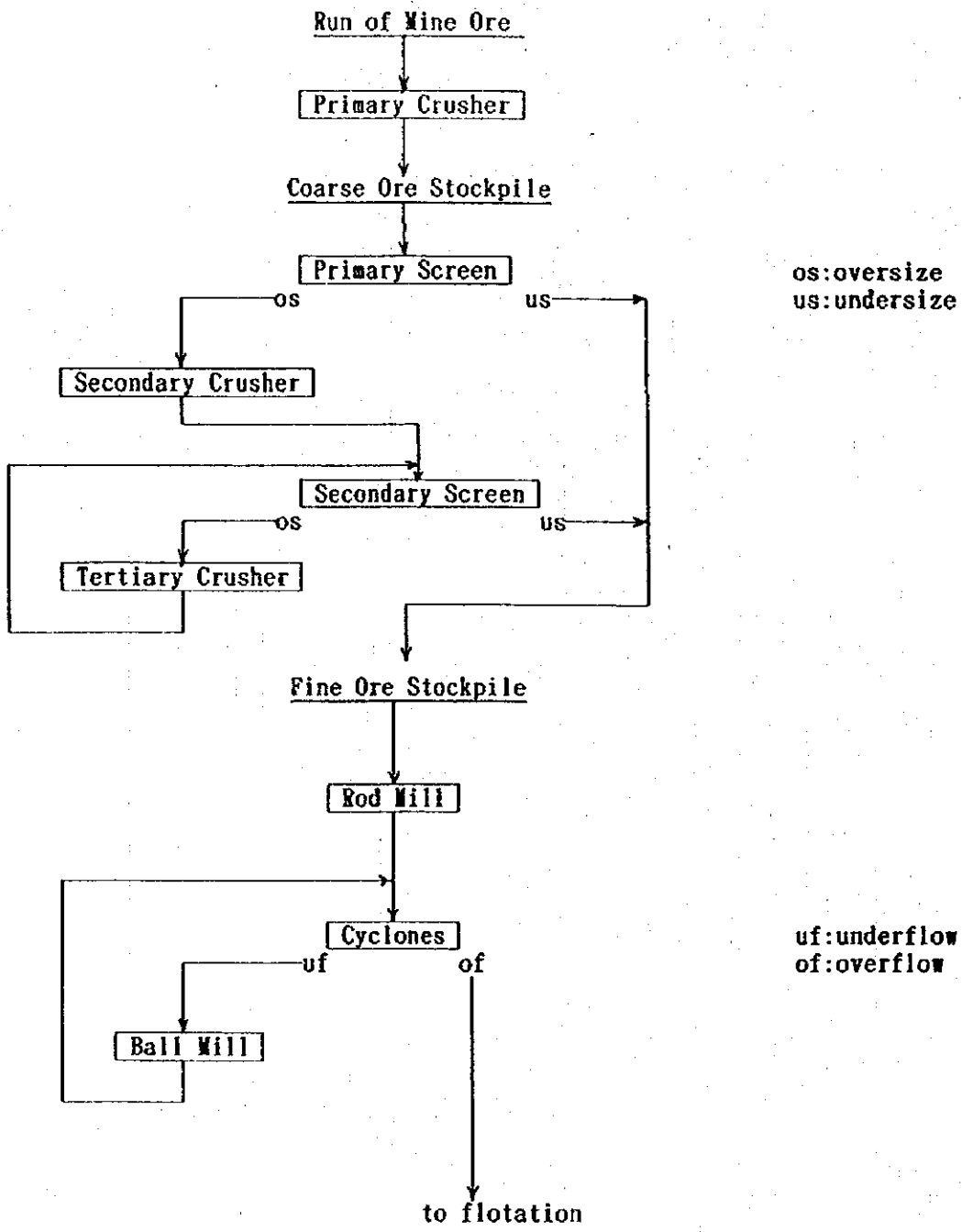


Fig. II-2-7 Procesamiento tradicional para la trituración de molienda

3) Equipo de molienda

volumen promedio de tratamiento	1 0,000 toneladas/día
volumen Máximo	1 1 ,000 toneladas/día
Rendimiento	92%
capacidad (total)	500 toneladas/hora
(1 línea de molienda)	250 toneladas/hora

En base a flujograma de proceso general y agregando el criterio arriba mencionado, se ha elaborado un diseño conceptual para una planta de beneficio de 10,000 ton/día y que se ilustra en la Fig. II-2-8. Ubicación probable para una planta de beneficio se indica en la Fig. II-2-9.

2-5 Conclusiones

1) Mena

En relación a la gravedad específica de la mena, se obtuvieron valores promedio de alrededor de 2.725 para la mena de alta ley y valores promedio de 2.651 para la mena de baja ley. Como Indices de Trabajo, se obtuvieron valores de 17.50kW/t para mena de alta ley y 14.92kW/t para mena de baja ley. Las menas de alta ley y de baja ley se consideran como rocas cuyo grado de dureza va de mediana a dura.

En relación a los resultados de los análisis químicos de los principales constituyentes de mena, se obtuvieron los valores de 0.84% Cu y 0.0162% Mo para mena de alta ley y 0.25% Cu y 0.0074% Mo para mena de baja ley.

La mena consiste principalmente de bornita en forma de diseminación (tamaño 10~400 μ m), Calcopirita (tamaño 10~400 μ m) y pirita (tamaño 50~200 μ m), encontrándose además hematita y parcialmente molibdenita. Bornita y calcopirita son mas abundantes que la pirita. Además en las vetas de cuarzo se encuentra la co-existencia de bornita (tamaño 1000 μ m) y calcopirita (tamaño 1000 μ m).

2) Ensayo de trituración y molienda

De acuerdo a los resultados de los ensayos de trituración y molienda (razón de distribución de menos 200: 75.2% en mena de alta ley y 82.4% en mena de baja ley) se adoptó un tiempo de molienda de 15 minutos para los ensayos básicos de flotación y ensayos de flotación colectiva Cu-Mo. Estos valores resultan grandes en comparación con valores corrientes, por lo que en el futuro se necesita de ensayos sobre tamaños de molienda mas gruesos con el objeto de acortar el tiempo de molienda.

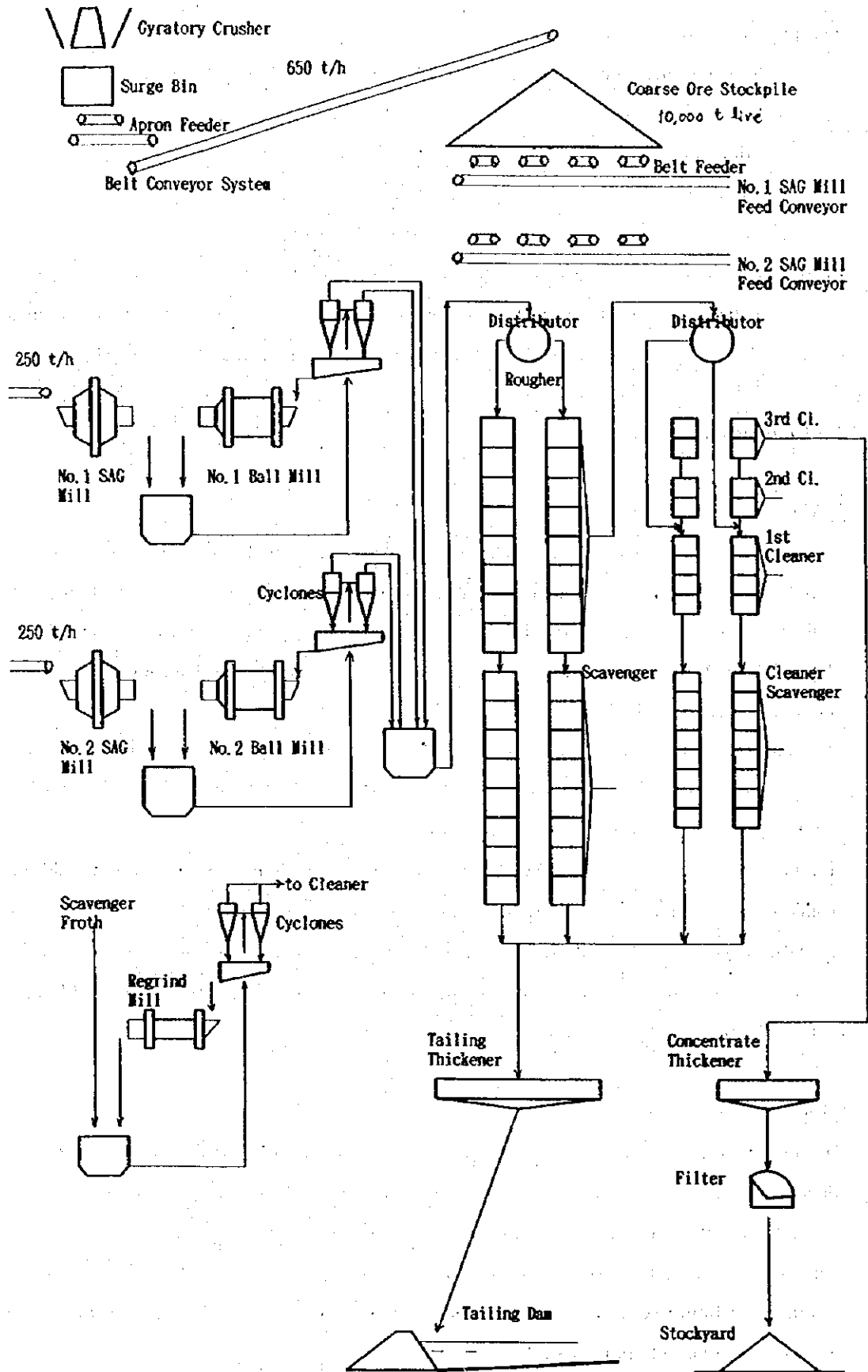


Fig. II-2-8 Diseño conceptual de la planta de beneficio

Ambas menas, de alta ley y de baja ley, las pruebas indicaron un aumento sensible en la liberación mineral por la malla de menos 150. Se logró aun mas rebajar en menos del 10% el mineral no liberado por medio de los ensayos de trituración de malla menos 200.

3) Ensayo básico de flotación

Durante la flotación desbastadora del ensayo básico de flotación, para ambas menas de alta ley y de baja ley, se observa un incremento en ley de concentrado por medio de la adición de Aerofloat #3477 y el mejoramiento de la razón de recuperación al utilizar valores altos de pH.

Durante la flotación relavadora de ensayo básico de flotación, además de la condición anteriormente mencionada de adicionar Aerofloat #3477 y alto pH, al agregar un dispersador CMC para controlar gangas, se obtuvieron resultados bien alentadores de ley de concentrado (mena de alta ley 38.4%, mena de baja ley 29.2%) y de razón de recuperación (mena de alta ley 94.5%, mena de baja ley 86.0%). Los minerales constituyentes de los productos del ensayo básico de flotación son similares tanto en menas de alta ley como de baja ley, como se describe a continuación.

El concentrado consiste de calcopirita, bornita, calcocina, tennantita, molibdenita, pirita y ganga. La mayor parte del grano mineral se encuentra liberado, con un 81.3% considerado como grano bastante fino debido a que su grano de mineral tiene tamaños por abajo de la malla 280. Pirita forma raramente mineral no liberado con minerales de cobre.

El mineral no liberado consiste de abundante ganga y de pocos minerales de sulfuro de grano muy fino. La mayor parte de los minerales de sulfuro es pirita, sin embargo, se encuentra poca cantidad de calcopirita y bornita. En gangas de grano grueso se incluyen minerales de sulfuro y hematita.

Los sedimentos de cola están mayormente compuesto de gangas, no obstante, se observa poca pirita, hematita, mineral de cobre y molibdenita de grano muy fino.

4) Ensayo de flotación colectiva

El ensayo de flotación colectiva de Cu-Mo indicó que menas con 9 minutos de re-molienda presentan los mejores resultados de recuperación. Los resultados fueron: 39.68% de ley de concentrado de Cu para menas de alta ley y 31.23% para menas de baja ley con razón de recuperación de Cu de 95.75% para menas de alta ley y 89.09% para menas de baja ley.

Los buenos valores obtenidos para ley de concentrado y razón de recuperación indican que la mena es de fácil beneficiación.

Los resultado del ensayo de flotación colectiva indicaron que la re-molienda es efectiva, comprobándose por el valor obtenido de razón de recuperación de 1.1% que es mayor que el

resultado del ensayo básico de flotación. Además se obtuvo alta razón de recuperación de Cu por flotabilidad controlada de ganga.

Los resultados de observación por microscopio de minerales distribuidos por diferencia de granulometría (Apéndice 20), indicaron que la presencia de calcopirita y pirita es alta en espuma (concentrado C1) y menor en espuma (concentrado C2), pero la presencia de bornita y ganga se reduce en espuma (C1) e incrementa en espuma (C2).

Para menas de baja ley, los valores de ley y razón de recuperación obtenidos son corrientes, indicando la necesidad de estudiar esto por otros métodos además de flotación, como lixiviación, (leaching), etc, debido a baja ley en la mena.

Para molibdeno, los resultados obtenidos de ley y razón de recuperación son razonables. En el futuro deberán de considerarse ensayos para separación Cu-Mo, pero la baja ley de Mo en la mena, llevan a la necesidad de llevar a cabo estudios económicos para investigar la posibilidad de implementar dichos ensayos para la separación Cu-Mo.

Los estudios que aun necesitan ser llevado a cabo son ensayos para optimizar las condiciones de pH y ensayos para seleccionar los mejores reactivos.

5) Ensayo para el tratamiento de sedimentación de cola y análisis de las aguas de desecho.

En los ensayos, se examinó el caso de adicionar coagulante catiónico y coagulante noniónico. En el caso de adicionar coagulante catiónico, la velocidad de sedimentación en la primera etapa es menor y el agua decantada resulta transparente. Con la adición de H_2SO_4 el agua decantada se neutraliza.

Los ensayos sobre las aguas de desecho indicaron que la densidad del componente disuelto observado es menor que los valores establecidos por la norma de desagüe de la República del Ecuador.

6) Flujograma de flotación

Los resultados de los ensayos de flotación colectiva, comprobaron la efectividad de la re-molienda y de esta forma se decidió incluir la re-molienda en el flujograma de flotación.

En el flujograma de flotación se consideró la utilización de la flotadora de barrido para re-tratamiento del mineral no liberado y así la espuma regresa sola a la etapa anterior del proceso, tratando el precipitado y las colas de flotación desbastadora como cola final.

Durante la flotación relavadora del ensayo básico de flotación, se observa que la secuencia de flotado incluye inicialmente la calcopirita liberada, flotando a continuación la bornita y finalmente flota el concentrado aun no liberado. Basados en estas observaciones se preparó un plan mejorado de flujograma de flotación. En este plan, la parte inicial que flota del flotador de desbaste, el cual posee fragmentos con alto grado de liberación, se envía

directamente a la sección de flotación relavadora, y la porción restante que corresponde a mineral no liberado de bajo grado de liberación, se envía a la sección de re-molienda.

7) Flujograma general del proceso

Presumiendo el caso de explotar por el método a ciclo abierto, se preparó un flujograma general del proceso que incluye las secciones de trituración, molienda, tratamiento de concentrado y disposición de cola.

La sección de trituración y molienda se realiza por medio de trituradora en fosa, molino SAG y molino de bolas. Tamaños del producto inferiores al del molino de bolas se va para la mena de flotación. La mena para flotación alimenta a la flotadora de desbaste y su espuma se manda a la sección de limpieza.

El precipitado se manda a la flotadora de barrido con el objeto de hacer mas flotación.

En la sección de limpieza, se realiza flotación en 3 etapas con flotadora de relave, y la espuma de la tercera flotadora del relave sera el concentrado final.

El precipitado de flotadora de barrido se trata como una parte de la cola final y la espuma se envía a la sección de re-molienda, donde se procesa por medio de molino de bolas y ciclón.

El concentrado final es decantado por espesador y deshidratado por filtro y depositado en tolva de reserva de concentrado. La cola final es decantado por espesador y se acumula en presa de colas.

El flujograma arriba mencionado considera la premisa que la mena es adecuada para ser utilizada en el molino tipo SAG, pero en caso contrario, durante el estudio se preparó también un flujograma de trituración y molienda utilizando el método tradicional.

8) Diseño conceptual de la planta de beneficio

Se realizó un estudio breve sobre plantas de beneficio para el tratamiento de un volumen promedio de 10,000 toneladas/día y 365 días de operación anual. Dos lugares se seleccionaron para la ubicación de planta de beneficio. Un diseño conceptual de la planta de beneficio de 10,000 toneladas/día se indica en la Fig. II-2-8, mientras que su ubicación estimada se ilustra en la Fig. II-2-9.

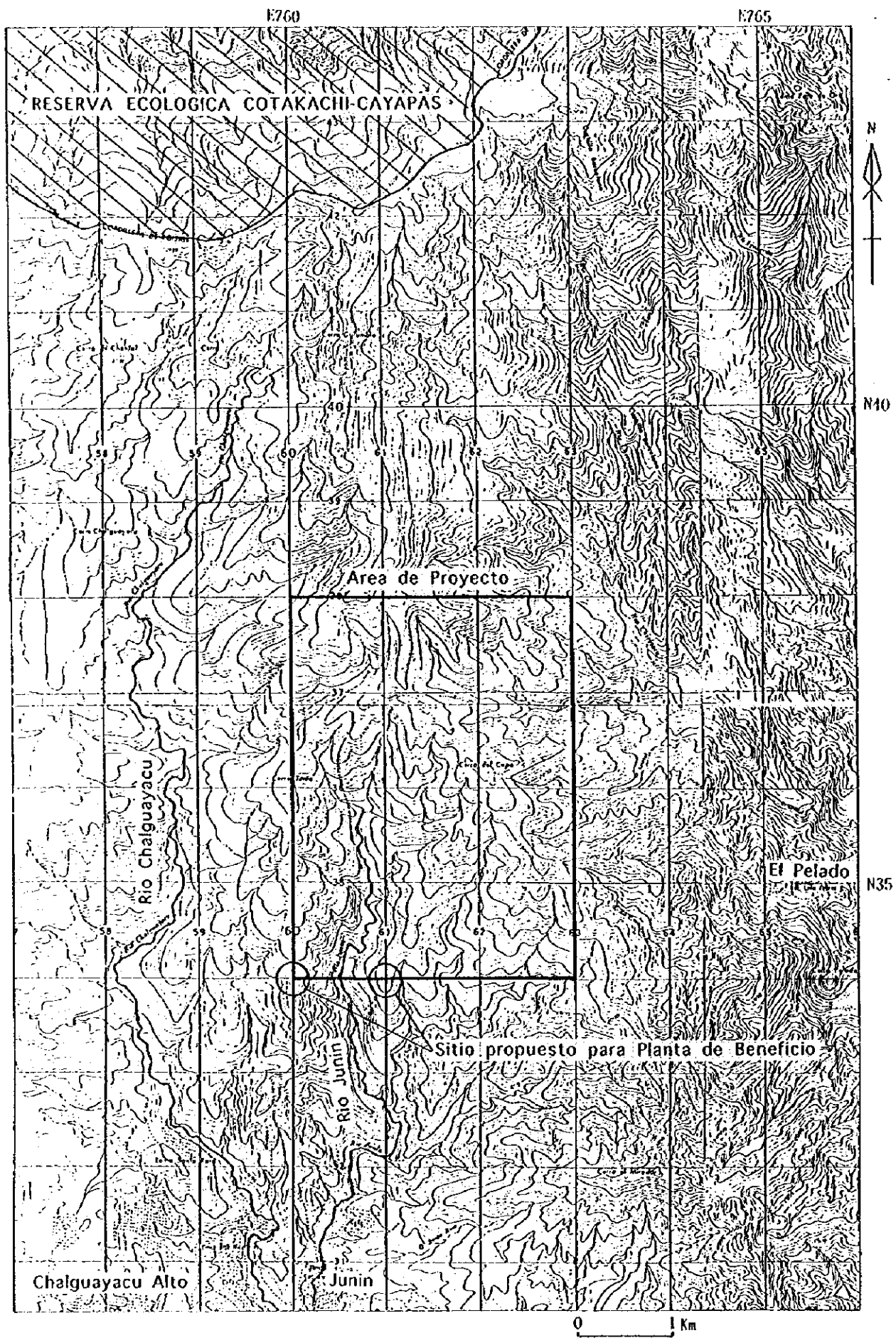
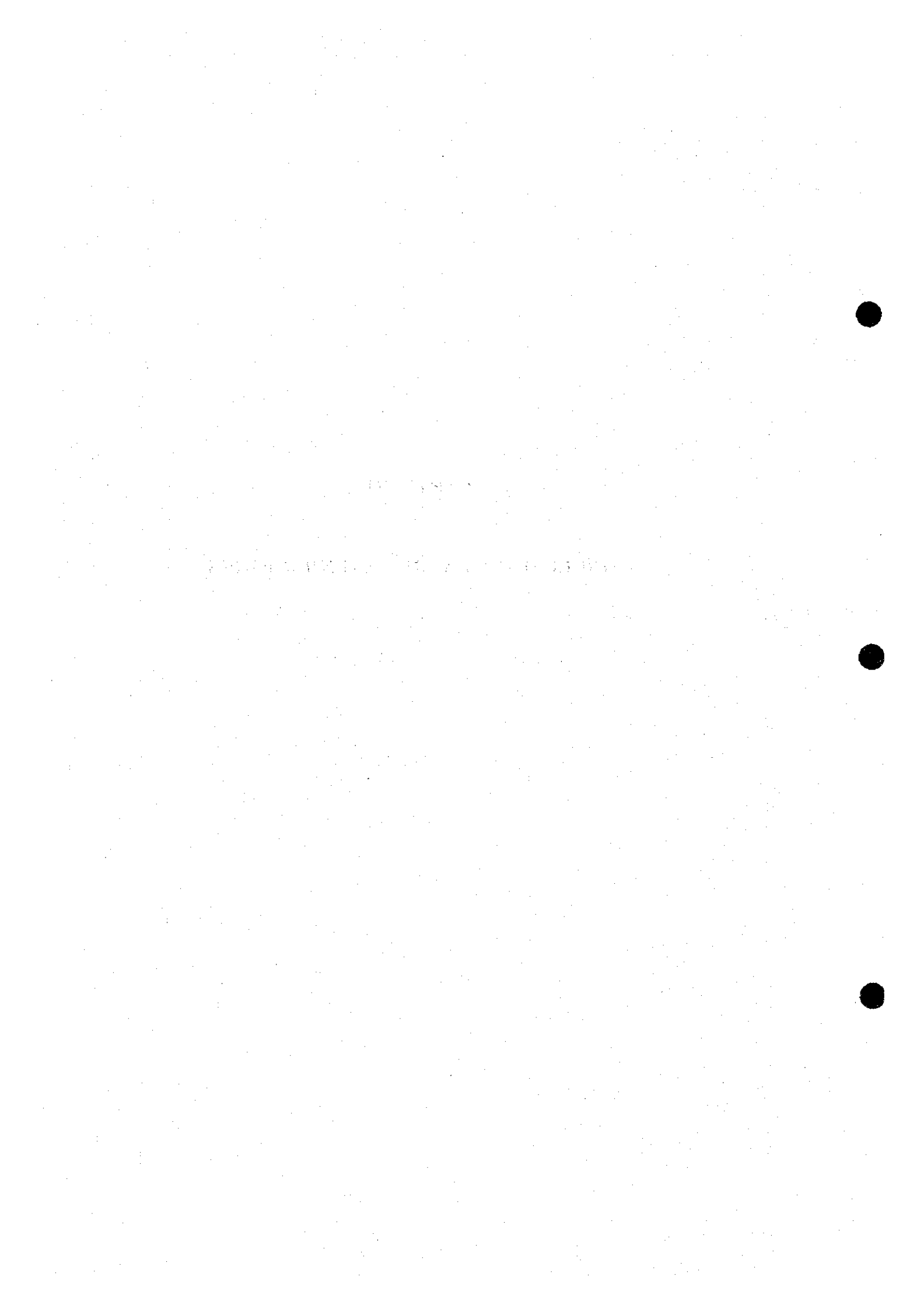


Fig. II-2-9 Ubicación sugerida para la planta de beneficio

PARTE III

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CAPITULO 1 CONCLUSIONES

1-1 Mineralización

1) El área estudiada está compuesta principalmente por granodiorita y numerosos cuerpos de naturaleza pórfido granodiorítica. Dichos cuerpos presentan en el contacto con la granodiorita una zona de enfriamiento rápido que indica su naturaleza intrusiva en la forma de diques.

Estos diques poseen buzamientos hacia el sur y hacia dos direcciones preferenciales de ENE-WSW y de NW-SE respectivamente, sin embargo, la dirección predominante resulta ser ENE-WSW. En superficie el pórfido granodiorítico se encuentra presente a lo largo de curso medio de la quebrada Controversia con buzamiento para el sur.

Una falla de dirección ENE-WSW y buzamiento SSE fue detectado en el curso medio de la quebrada Controversia. Otra falla con dirección N-S y buzamiento E se encuentra aguas abajo de la quebrada Rica y a lo largo del río Junín.

2) La mineralización primaria está compuesta por minerales de cobre y de molibdeno que se presentan ya sea diseminadas o en forma de mallas de películas en granodiorita y pórfido granodiorítico. De los resultados de reconocimiento en superficie y estudio de los testigos de perforación se pudo constatar que las mineralizaciones están relacionadas con pórfidos granodioríticos que intrusionaron la granodiorita. De los resultados analíticos se encuentra que los resultados de cobre y molibdeno están aproximadamente correlacionados y en la roca estos minerales se presentan generalmente en forma diseminada lo que sugiere que las mineralizaciones de cobre y molibdeno son casi contemporáneos.

3) Durante las investigaciones realizadas durante el año fiscal de 1996, se confirmó una fuerte mineralización en las proximidades de una falla de dirección ENE-WSW con buzamiento SSE, lo que comprueba que estas fallas sirvieron como conductos para las soluciones mineralizantes. De lo anterior se desprende que la falla es de época anterior a la mineralización y que posiblemente controle las intrusiones del pórfido granodiorítico. Según los resultados de la campaña geofísica los bajos valores de resistividad que se encuentran a lo largo de las dos fallas, una de dirección ENE-WSW con buzamiento SSE y otra, de

dirección N-S con buzamiento para E, posiblemente concuerdan con la zona mineralizada. Las mineralizaciones en el área estudiada están directamente relacionadas con las intrusiones de pórfido granodiorítico y con sus soluciones mineralizantes provocando inicialmente la formación de fracturas tanto en la granodiorita como en pórfido granodiorítico, siendo estas fracturas llenadas por las soluciones mineralizantes. Adicionalmente si consideramos que la falla también ha sido responsable de las mineralizaciones, entonces será necesario considerar los mecanismos del proceso de mineralización en las zonas de fallas.

Los minerales de cobre identificados en las anteriormente mencionadas mineralizaciones son principalmente calcopirita, bornita y calcocita y secundariamente, covelina, tennantita, malaquita, etc. Por medio de observaciones al microscopio se encuentra que la calcopirita, bornita y calcocita presentan textura de exsolución, indicando que estos dos minerales son de origen primario. No obstante, en la superficie calcopirita se transformó en calcocita y covelina formando minerales secundarios. El estudio de la geología superficial y los datos de las perforaciones indican que la presencia de calcocita y covelina no se encuentran ampliamente distribuidas, sugiriendo que la zona de enriquecimiento secundario es de pequeña escala.

- 4) Las alteraciones relacionadas a las mineralizaciones fueron agrupadas en cuarzo-feldespato potásico-biotita-sericita, cuarzo-sericita-clorita, cuarzo-plagioclasa-clorita-epidoto. El grupo del cuarzo-feldespato potásico-biotita-sericita corresponde a la alteración potásica, el de cuarzo-sericita-clorita corresponde a la alteración filítica y el de cuarzo-plagioclasa-clorita-epidoto corresponde a la alteración propilítica, respectivamente. Comparando las zonas de alteración con las zonas mineralizadas, se puede ver que la zona de alteración potásica corresponde a la zona fuertemente mineralizada y alrededor de esta zona se localiza la zona de alteración filítica y más hacia afuera de estas se ubica la zona de alteración propilítica. En el área bajo estudio, las mejores zonas mineralizadas se ubicaron dentro de la zona potásica y zona filítica que se ubican alternadamente.
- 5) Se infiere que la mineralización ocurrió durante y después de la actividad del pórfido granodiorítico.
- 6) De los estudios de perforación se obtuvieron buenas mineralizaciones en niveles profundos de los alrededores del curso medio de la quebrada Controversia y aguas abajo de la quebrada

Rica.

La extensión de las mineralizaciones se estimó en la dirección ENE-WSW y buzamiento SSE entre 40° y 60°, la cual coincide bien con la zona de baja resistividad de la parte central que fue obtenida por la investigación geofísica. Por consiguiente la extensión de mineralización distribuida en la zona de baja resistividad de la parte central se prolonga tanto hacia ENE como hacia SSW. En la dirección ENE (curso medio y aguas arriba de la quebrada Rica) se espera que la zona mineralizada esté a poca profundidad por lo que será fácil de conocer la situación del mineral en subsuelo. En la dirección SSW (parte sur del pozo MJJ-29 y parte sudoeste de pozo MJJ-22), se espera que la zona mineralizada esté a mas profundidad, sin embargo la zona de baja resistividad se encuentra ampliamente distribuida, por lo que se existe la posibilidad de que la zona mineralizada sea mas amplia.

Se espera que estudios futuros de exploración se realicen en zonas prometedoras tales como la zona corriente media hacia aguas arriba de la quebrada Rica, la zona de la parte sur del pozo MJJ-29 y la zona de la parte sudoeste del pozo MJJ-22.

1-2 Cálculos preliminares de reserva

- 1) Se realizó el cálculo de reservas para determinar en forma preliminar, la cantidad posible de reserva minera y ley de mineral en base a los resultados obtenidos por 30 pozos de perforación (Pozos : MJJ-1 hasta MJJ-30, profundidad total : 7,029.9m).
- 2) Se utilizó un valor promedio de 2.67 como el peso específico a ser utilizado para el cálculo de reservas. El peso específico se calculó en base a la medición de pesos específicos en el ensayo de beneficiación.
- 3) El límite preciso de la zona mineralizada no se ha determinado todavía por falta de mas estudios de perforación. Sin embargo, se determinó una forma preliminar inferida del yacimiento ubicando los bloques para el cálculo de reserva por medio de datos geológicos, como la presencia de diques de pórfido granodiorítico y las distribuciones de ley de Cu.
- 4) El cálculo de la ley promedio por cada bloque se realizó utilizando el método del inverso de la distancia con un método de 'Z grid control' de malla que indica la distribución de ley según la forma del yacimiento. Se aplicó una distancia de influencia de 150m en base a la distancia de 150m ó 200m entre los pozos.
- 5) Para los cálculos se utilizó el programa de software MINEX.
- 6) Aunque hubo insuficiencia de datos de perforación, se llevaron a cabo los cálculos de reserva. Dichos cálculos de reserva deberán de considerarse como preliminares.

- 7) Según los resultados del cálculo, se infieren los siguientes resultados: 318 millones de toneladas con leyes promedio de 0.71% de Cu y 0.026% de Mo utilizando la ley de corte de 0.4% de Cu; 171 millones de toneladas con leyes promedio de 0.91% de Cu y 0.033% de Mo por la ley de corte de 0.6% de Cu, y 88 millones de toneladas con leyes promedio de 1.11% de Cu y 0.040% de Mo considerando la ley de corte de 0.8% de Cu.
- 8) En el caso que el cálculo aplique una distancia de influencia de 50m, 37 millones de toneladas se infieren con una ley promedio de 0.73% de Cu por ley de corte de 0.4% de Cu.
- 9) Se recomiendan estudios adicionales de perforación para obtener datos suficientes que conlleven a cálculos de reserva mas precisos.

1-3 Ensayo de Beneficiación

1) El ensayo de beneficiación

Este tipo de ensayos se llevó a cabo utilizando testigos como mena. Este estudio comprendió los siguientes ensayos:

Ensayo de propiedades físicas de mena

Ensayo de trituración y molienda

Ensayo básico de beneficiación

Ensayo de sedimentación de cola

Ensayo de aguas de desecho

2) Mena

En relación a los resultados de los análisis químicos de los principales constituyentes de mena, se obtuvieron los valores de 0.84% Cu y 0.0162% Mo para mena de alta ley y 0.25% Cu y 0.0074% Mo para mena de baja ley.

La mena consiste principalmente de bornita en forma de disseminación, calcopirita y pirita (tamaño 50-200 μ m), encontrándose además hematita y parcialmente molibdenita.

3) Ensayo de trituración y molienda

De acuerdo a los resultados de los ensayos de trituración y molienda (razón de distribución de < 200 malla: 75.2% en mena de alta ley y 82.4% en mena de baja ley) se adoptó un tiempo de molienda de 15 minutos para los ensayos básicos de flotación y ensayos de flotación colectiva Cu-Mo. Estos valores resultan grandes en comparación con valores corrientes, por

lo que en el futuro se necesita de ensayos en granos mas gruesos con el objeto de acortar mas el tiempo de molienda.

Las pruebas de liberación realizadas en menas de alta ley y de baja ley presentaron un aumento sensible en la liberación de minerales en la granulometría de menos de 150 malla. Se logró liberar mas mineral cuando se utiliza menos de 200 malla, es decir, el porcentaje de mineral no liberado disminuyó en menos del 10% cuando se utiliza menos de 200 malla.

4) Ensayo básico de flotación

Durante la flotación desbastadora del ensayo básico de flotación, para ambas menas de alta ley y de baja ley, se observó un incremento en ley de concentrado por medio de la adición de Aerofloat #3477 y también un mejoramiento de la razón de recuperación al utilizar valores altos de pH.

Durante la flotación relavadora de ensayo básico de flotación, además de la condición anteriormente mencionada (adicionar Aerofloat #3477 e incrementar el pH a valores altos), al agregar un dispersador CMC para controlar gangas, se obtuvieron resultados bien alentadores de ley de concentrado (mena de alta ley 38.4%, mena de baja ley 29.2%) y de razón de recuperación (mena de alta ley 94.5%, mena de baja ley 86.0%). El concentrado consiste de calcopirita, bornita, calcocina, tennantita, molibdenita, pirita y ganga.

5) Ensayo de flotación colectiva

El ensayo de flotación colectiva de Cu-Mo indicó que menas con 9 minutos de re-molienda presentan mejores resultados de recuperación. Los resultados fueron: 39.68% de ley de concentrado de Cu para menas de alta ley y 31.23% para menas de baja ley con razón de recuperación de Cu de 95.75% para menas de alta ley y 89.09% para menas de baja ley.

Los buenos valores obtenidos para ley del concentrado y razón de recuperación indican que la mena es de facil beneficiación.

Los resultados del ensayo de flotación colectiva indicaron que la re-molienda es efectiva, comprobándose por el valor obtenido de razón de recuperación con un incremento del 1.1% en relación con los resultados del ensayo básico de flotación. Además se obtuvo alta razón de recuperación de Cu por flotabilidad controlada de ganga.

Los valores corrientes de ley y razón de recuperación obtenidos en menas de baja ley indican la necesidad de estudiar otros métodos además de flotacion, como lixiviación, (leaching), etc, debido a baja ley en la mena.

Para molibdeno, los resultados obtenidos de ley y razón de recuperación son razonables. En

el futuro deberán de llevarse a cabo ensayos para separación Cu-Mo, pero la baja ley de Mo en la mena, llevan a la necesidad de conducir estudios económicos que viabilice dichos ensayos para la separación Cu-Mo.

Los estudios que aun necesitan ser llevados a cabo son ensayos para optimizar las condiciones de pH y ensayos para seleccionar los mejores reactivos.

6) Ensayo para el tratamiento de sedimentación de cola y análisis de las aguas de desecho.

En los ensayos, se examinó el caso de adicionar coagulante catiónico y coagulante noniónico. En el caso de adicionar coagulante catiónico, la velocidad de sedimentación en la primera etapa es menor y el agua decantada resulta transparente. Con la adición de H_2SO_4 el agua decantada se neutraliza.

Los ensayos sobre las aguas de desecho indicaron que la densidad del componente disuelto observado es menor que los valores establecidos por la norma de desagüe de la República del Ecuador.

7) Flujograma de flotación

Los resultados de los ensayos de flotación colectiva, comprobaron la efectividad de la re-molienda y de esta forma se decidió incluir la re-molienda como se describe en el flujograma de flotación. Dicho flujograma considera la utilización de la flotadora de barrido para re-tratamiento del mineral no liberado, regresando la espuma sola a la etapa anterior del proceso y tratando los precipitados con las colas de flotación desbastadora como cola final.

Durante la flotación relavadora del ensayo básico de flotación, se observa que la secuencia de flotado incluye al inicio la calcopirita liberada, flotando luego la bornita y posteriormente flota el mineral aun no liberado. Basados en estas observaciones se preparó un plan mejorado para el flujograma de flotación. En este plan, el material inicial que flota del flotador de desbaste, el cual posee fragmentos con alto grado de liberación, se envía directamente a la sección de flotación relavadora, y la porción restante que corresponde a mineral de bajo grado de liberación se envía a la sección de re-molienda.

8) Flujograma general del proceso

Presumiendo el caso de explotar por el método a cielo abierto, se preparó un flujograma general del proceso que incluye las secciones de trituración, molienda, tratamiento de concentrado y disposición de cola.

La sección de trituración y molienda se realiza por medio de trituradora en fosa, molino

SAG y molino de bolas. Tamaños del producto inferiores al del molino de bolas se va para la mena de flotación. La mena para flotación alimenta a la flotadora de desbaste y su espuma se manda a la sección de limpieza.

El precipitado se manda a la flotadora de barrido con el objeto de someterla mas al proceso de flotación.

En la sección de limpieza, se realiza flotación en 3 etapas con flotadora de relave, y la espuma de la tercera flotadora del relave sera el concentrado final.

El precipitado proveniente de la flotadora de barrido se trata como una parte de la cola final y la espuma se envía a la sección de re-molienda, donde se procesa por medio de molino de bolas y ciclón.

El concentrado final es decantado por espesador y deshidratado por filtro y depositado en tolva de reserva de concentrado. La cola final es decantado por espesador y se acumula en presa de colas.

El flujograma arriba mencionado considera la premisa que la mena es adecuada para ser utilizada en el molino tipo SAG, pero en caso contrario, durante el estudio se preparó también un flujograma de trituración y molienda utilizando el método tradicional.

9) Diseño conceptual de la planta de beneficio

Se realizó un estudio breve sobre plantas de beneficio para el tratamiento de un volumen promedio de 10,000 toneladas/día y 365 días de operación anual. Dos lugares se seleccionaron para la ubicación de planta de beneficio.

1-4 Plan de Desarrollo Minero

Los datos colectados de los estudios realizados hasta el año fiscal de 1997 no son todavía lo suficientes como para considerarlo un estudio final de prefactibilidad. Por tal razón, se necesita llevar a cabo perforaciones adicionales que permitan la determinación mas precisa de datos tales como, cantidades de reservas, tenores, dimensionamiento mas preciso de la zona mineralizada, etc.

De los resultados hasta ahora obtenidos por los ensayos de beneficiación durante el año fiscal de 1997, se estima que la mena es de facil beneficiación, por lo que se necesita en el futuro de realizar ensayos mas detallados que consideren también estimaciones de costos operacionales.

Consideración debe también tomarse a los estudios ecológicos en la parte norte del área del proyecto donde existe el Area de Reserva Ecológica Cotacachi-Cayapas. El área del proyecto

está localizado alrededor de 5 Km fuera de la zona de amortiguación, no obstante si las facilidades de minas se construyeran en un sitio adyacente a la zona de amortiguación, se necesitaría de un plan de desarrollo minero que preserve también la zona de amortiguación. Por estas razones, la conducción de un estudio que evalúe el impacto medio-ambiental de la zona y sus alrededores deberá considerarse como una parte importante dentro de los estudios.

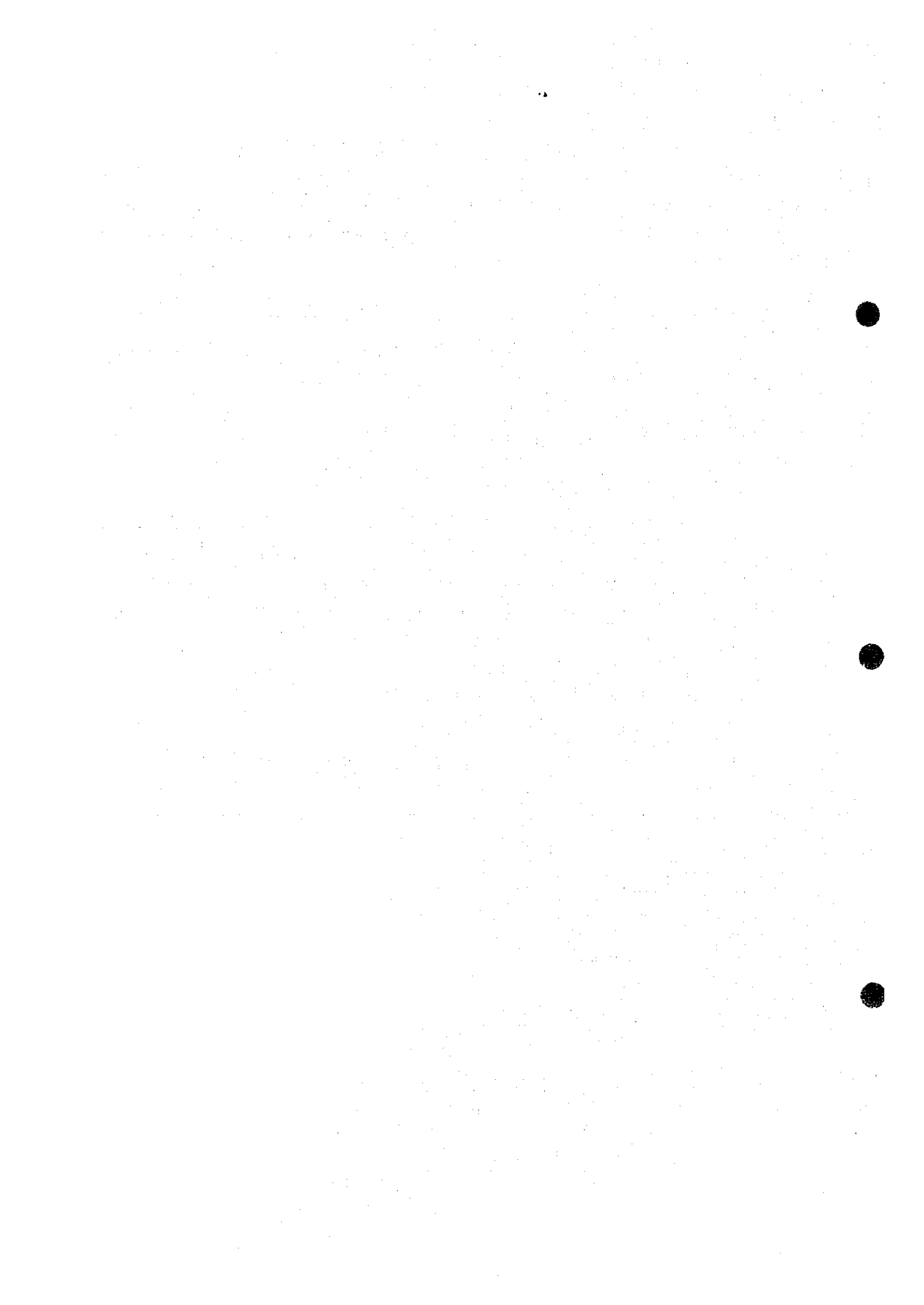
CAPITULO 2 RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos durante el año fiscal de 1996, se puede inferir la existencia de una buena mineralización de cobre y molibdeno en las profundidades de los alrededores de las quebradas Controversia, Rica y Fortuna, por lo que se considera una alta posibilidad de desarrollo minero.

Según los estudios realizados durante el año fiscal 1997, los cálculos preliminares realizados estiman una reserva de 318 millones de toneladas con ley promedio de 0.71% y considerando ley de corte de 0.4% de Cu. Los estudios también dieron buenos resultados durante el ensayo de beneficiación.

Como paso siguiente se considera necesario de la elaboración de un plan de desarrollo minero, por lo que se estima conveniente llevar a cabo las siguientes recomendaciones:

- 1) Realizar los cálculos de reservas con mejor precisión. Para lograr esto, se hace necesario llevar a cabo mas investigaciones geológicas, geofísicas y de perforación con el objeto de delinear mejor la zona mineralizada. Entre los estudios arriba mencionados, la perforación se considera importante. Por otra parte, entre los métodos de exploración, se recomienda llevar también a cabo galerías.
- 2) Llevar a cabo un estudio de prefactibilidad de desarrollo mineral tomando como base los resultados de las investigaciones arriba mencionadas. Para lograr esto, se hace también necesario elaborar un plan de desarrollo minero que tome también en cuenta las contramedidas necesarias para la protección medio ambiental que considere necesariamente el área de la reserva ecológica Cotacachi-Cayapas, localizada en la parte norte del área del proyecto.



BIBLIOGRAFIA

Gustafson L.B. and Hunt J.P. (1975): The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile. Economic Geology vol.70, No.5.

Hollister V.F. (1978): Geology of the Porphyry Copper Deposits of the Western Hemisphere, Society of Mining Engineers.

INEFAN (1996): Sistema nacional de áreas protegidas del Ecuador.

INEMIN, AGCD-ABOS (1988): Proyecto de desarrollo del sector minero en el Ecuador.

JICA/MMAJ (1992): Report on the cooperative mineral exploration in the Junin area, Republic of Ecuador.

JICA/MMAJ(1993): Report on the cooperative mineral exploration in the Junin area, Republic of Ecuador.

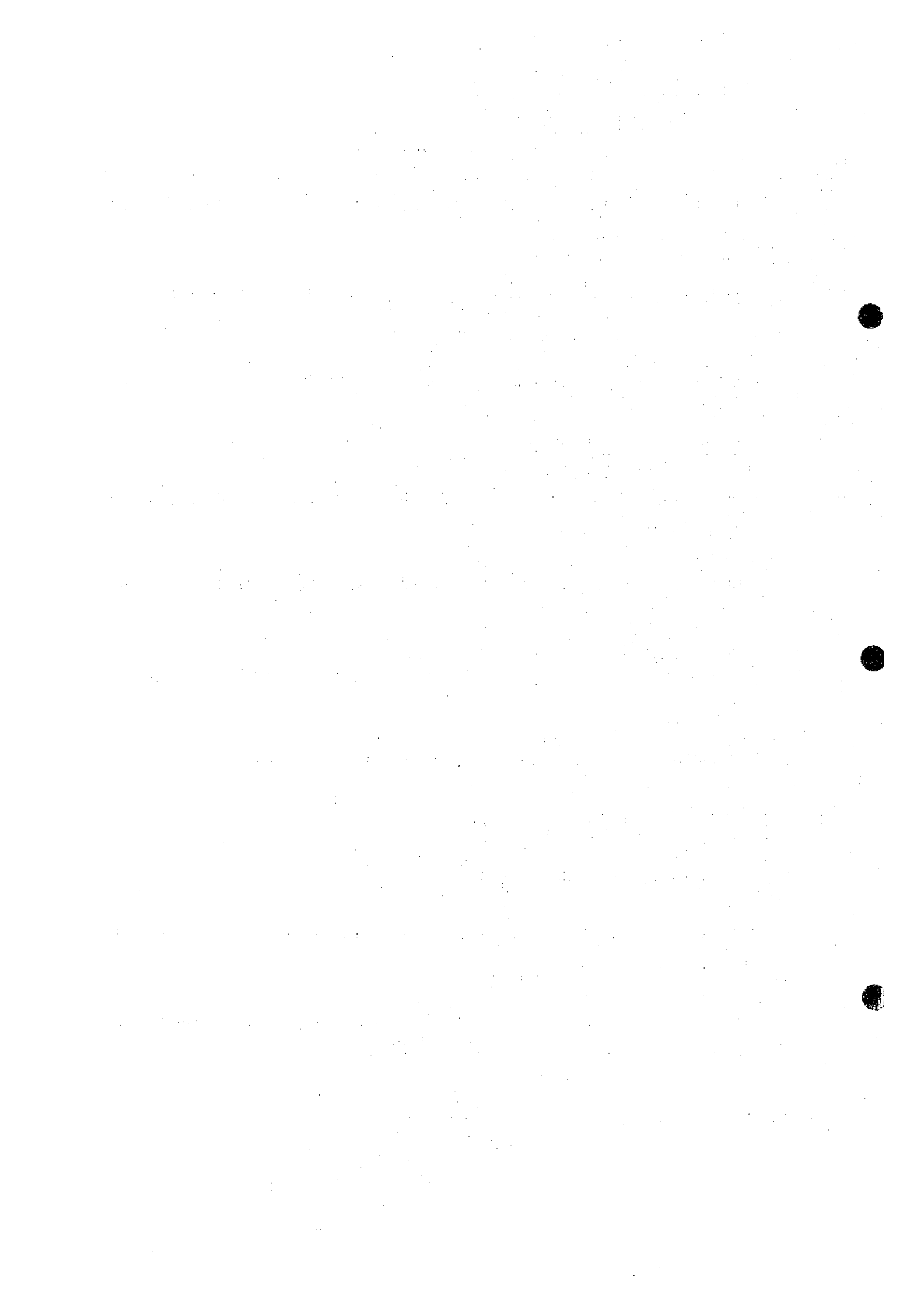
JICA/MMAJ (1994): Report on the cooperative mineral exploration in the Junin area, Republic of Ecuador.

JICA/MMAJ (1995): Report on the cooperative mineral exploration in the Junin and Cuellaje area, Republic of Ecuador.

JICA/MMAJ (1996): Informe final sobre la exploración mineral de cooperación técnica en las áreas de Junin y Cuellaje, República del Ecuador.

JICA/MMAJ (1997): Informe sobre la exploración mineral de cooperación técnica en el área de Imbaoeste, República del Ecuador.

Mapa Geológico de la República del Ecuador: Ministerio de Energía y Overseas Development Administration (1993).



LISTA DE FIGURAS, TABLAS Y APENDICES

Lista de Figuras

Fig. 1	Ubicación del área del proyecto	
Fig. 2	Ubicación del área de Imbaoste	
Fig. I-1-1	Ubicación del área de las investigaciones geológica, geofísica y de perforación realizadas durante el año fiscal de 1996	3
Fig. I-3-1	Zonas geotectónicas y zonas metalogénicas en el Ecuador	11
Fig. I-4-1	Mapa geológico de la zona central de Imbaoste	15
Fig. I-4-2	Perfiles geológicos de la zona central de Imbaoste (1)	15
Fig. I-4-2	Perfiles geológicos de la zona central de Imbaoste (2) y (3)	17
Fig. I-4-3	Resultados compilados de la investigación geológica en la zona Central de Imbaoste	20
Fig. I-4-4	Resultados compilados de la investigación geofísica en la zona central de Imbaoste	25
Fig. II-4-5	Resultados compilados de los estudios de perforación en la zona central de Imbaoste	30
Fig. II-1-1	Ubicación de los pozos de perforación en el área de Imbaoste	55
Fig. II-1-2	Foma inferida del yacimiento (1)	57
Fig. II-1-2	Foma inferida del yacimiento (2)	58
Fig. II-1-3	Distribución de bloques para el cálculo de reserva	60
Fig. II-1-4	Mapa en plano de distribución de ley	61
Fig. II-1-5	Perfiles de distribución de ley	61
Fig. II-1-6	Distribución tridimensional de ley	63
Fig. II-2-1	Flujograma de flotación desbastadora del ensayo básico de flotación	71
Fig. II-2-2	Flujograma de flotación relavadora del ensayo básico de flotación	71
Fig. II-2-3	Flujograma del ensayo de flotación colectiva	72
Fig. II-2-4	Flujograma de flotación (Plan 1)	83
Fig. II-2-5	Flujograma de flotación (Plan 2)	84
Fig. II-2-6	Flujograma del procemiento en general	87
Fig. II-2-7	Procesamiento tradicional para la trituración de molienda	88
Fig. II-2-8	Diseño conceptual de la planta de beneficio	90
Fig. II-2-9	Ubicación sugerida para la planta de beneficio	94

Lista de Tablas

Tabla I-1-1 Cantidad de trabajo realizado durante el año fiscal de 1996	4
Tabla I-1-2 Cantidad de trabajo realizado durante el año fiscal de 1997	5
Tabla II-1-1 Lista de pozos	54
Tabla II-1-2 Resultados de cálculos de reserva	59

Lista de Apéndices

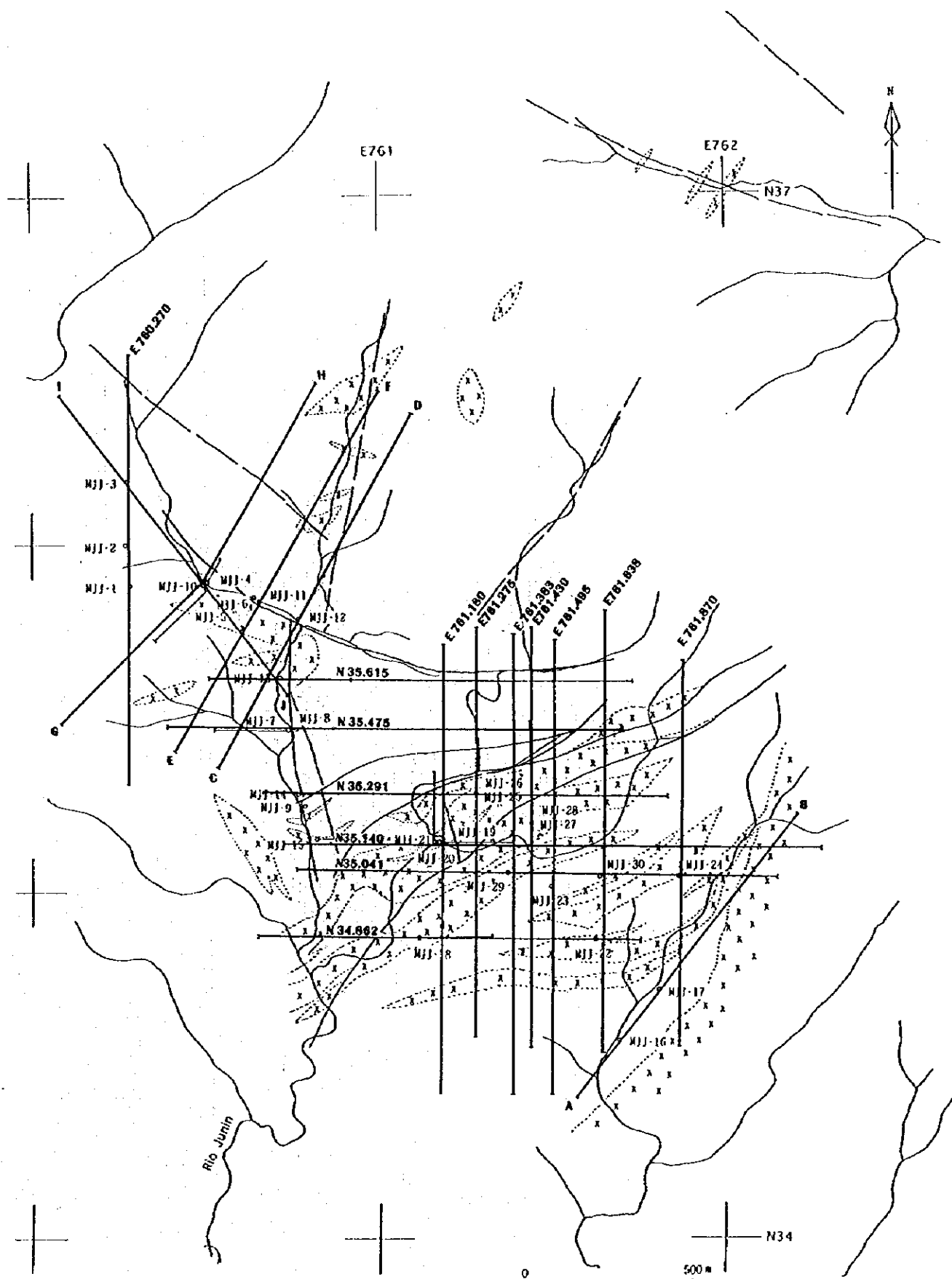
Apéndice 1 Perfiles geológicos de perforación	A-1
Apéndice 2 Columna sumaria de los pozos	A-23
Apéndice 3 Datos básicos para el cálculo de reserva	A-45
Apéndice 4 Distribución de bloques para el cálculo de reserva	A-91
Apéndice 5 Mapa en plano de distribución de ley	A-97
Apéndice 6 Perfiles EW de distribución de ley (Cu)	A-107
Apéndice 7 Perfiles NS de distribución de ley (Cu)	A-115
Apéndice 8 Mapa en plano de distribución de ley (Mo)	A-123
Apéndice 9 Perfiles EW de distribución de ley (Mo)	A-129
Apéndice 10 Perfiles NS de distribución de ley (Mo)	A-135
Apéndice 11 Maquinarias usadas en el ensayo de beneficiación	A-141
Apéndice 12 Método de análisis químico	A-145
Apéndice 13 Resultados de medición de gravedad específica	A-149
Apéndice 14 Resultados de determinación de índice de trabajo	A-153
Apéndice 15 Resultados del análisis químico de mena	A-157
Apéndice 16 Resultados de observaciones al microscopio en secciones pulidas	A-161
Apéndice 17 Fotografías al microscopio en el ensayo de beneficiación	A-165
Apéndice 18 Proporción de partículas liberadas en los ensayos de trituración y molienda	A-183
Apéndice 19 Distribución de minerales por diferencia de granulometría en los ensayos básicos de flotación	A-187
Apéndice 20 Distribución de minerales por diferencia de granulometría en los ensayos de flotación colectiva	A-193
Apéndice 21 Resultados de ensayos por difracción de rayos X	A-197
Apéndice 22 Resultados del análisis de EPMA	A-201

Apéndice 23 Distribución de grano de mena -----	A-207
Apéndice 24 Resultados de ensayo de trituración y molienda -----	A-211
Apéndice 25 Resultados de ensayo básico de flotación -----	A-215
Apéndice 26 Resultados de ensayo de flotación colectiva -----	A-225
Apéndice 27 Resultados de ensayo de tratamiento de cola -----	A-241
Apéndice 28 Resultados de análisis químico de aguas de desecho -----	A-245

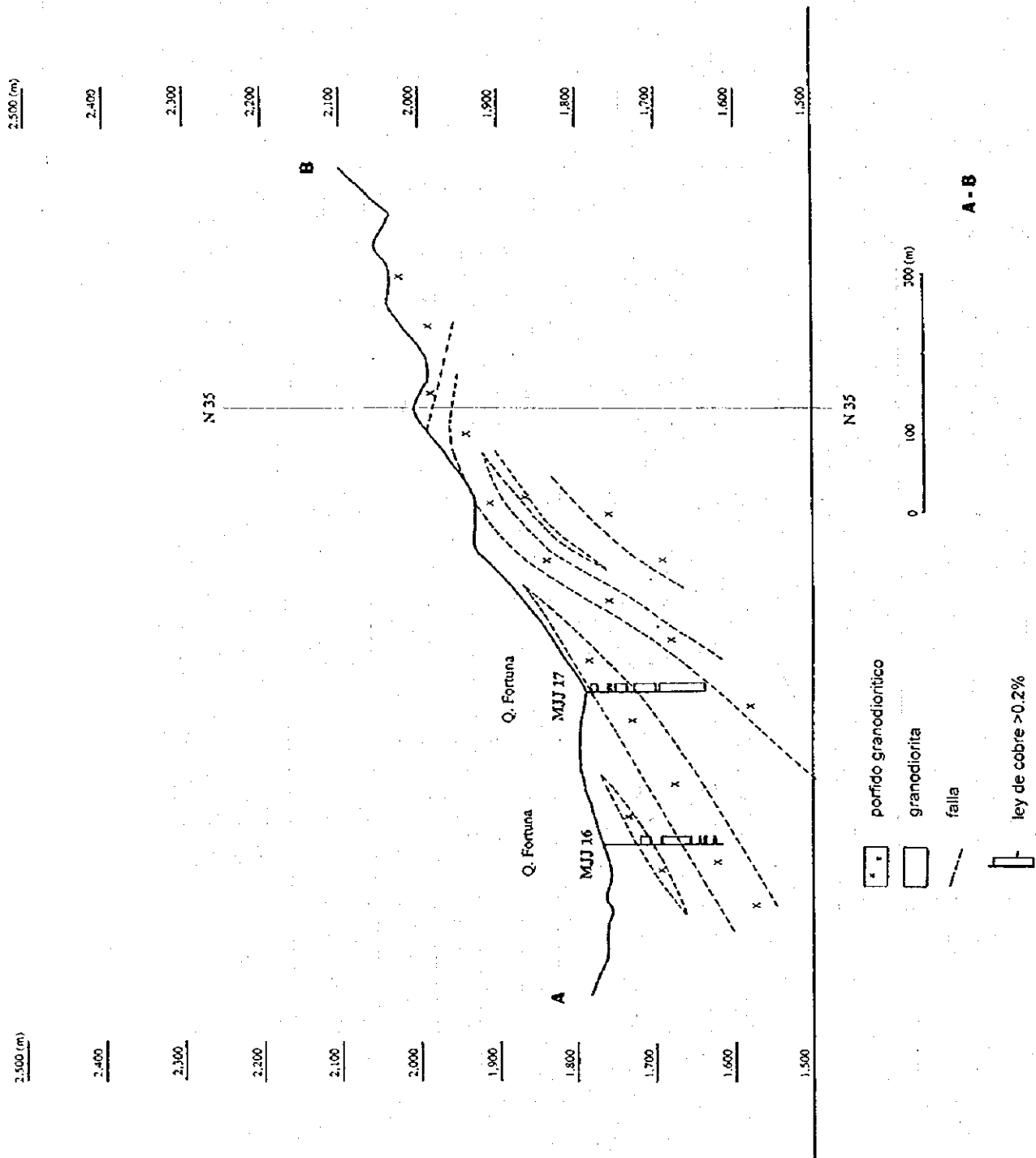


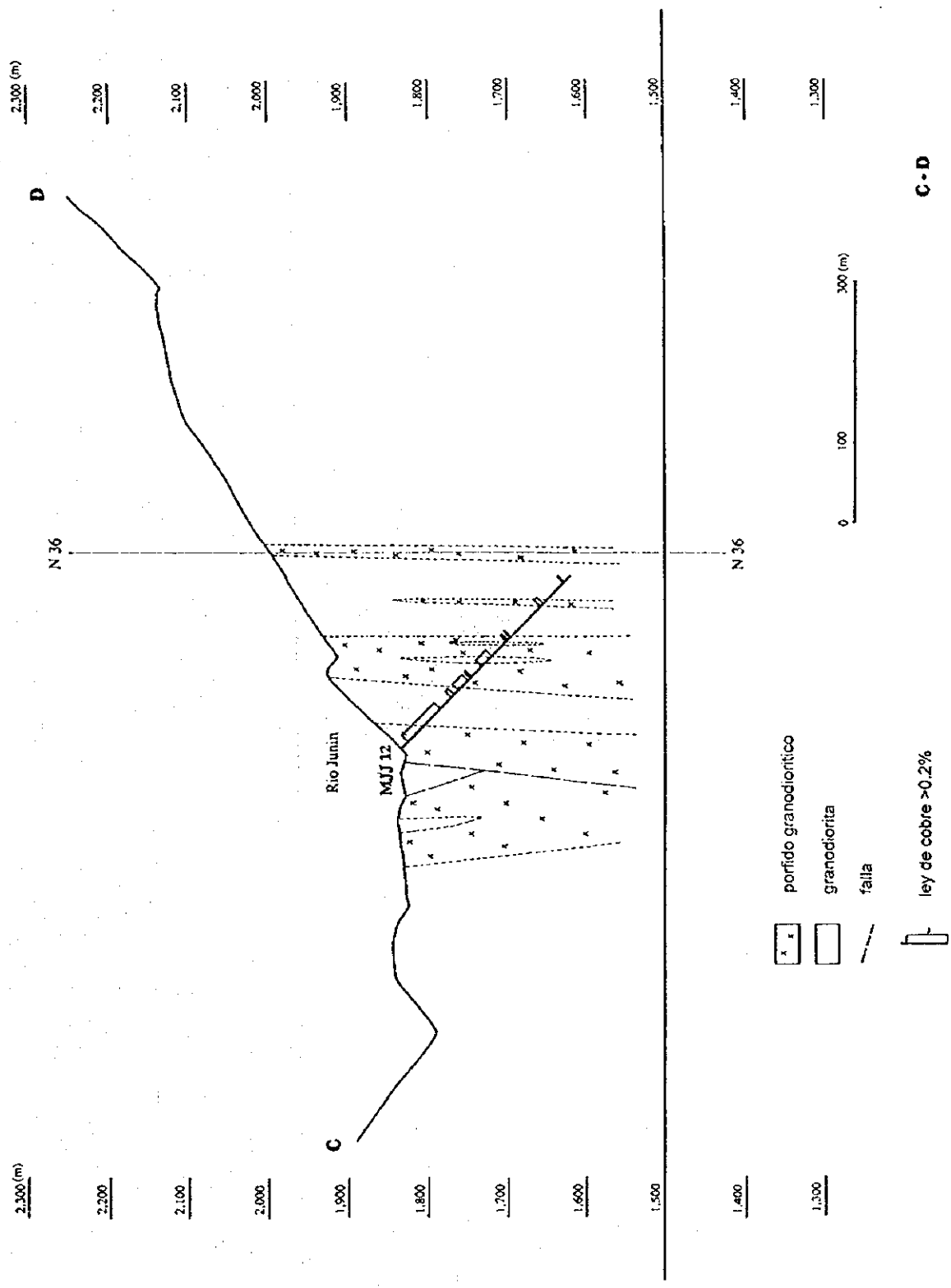
Apéndice 1 Perfiles geológicos de perforación

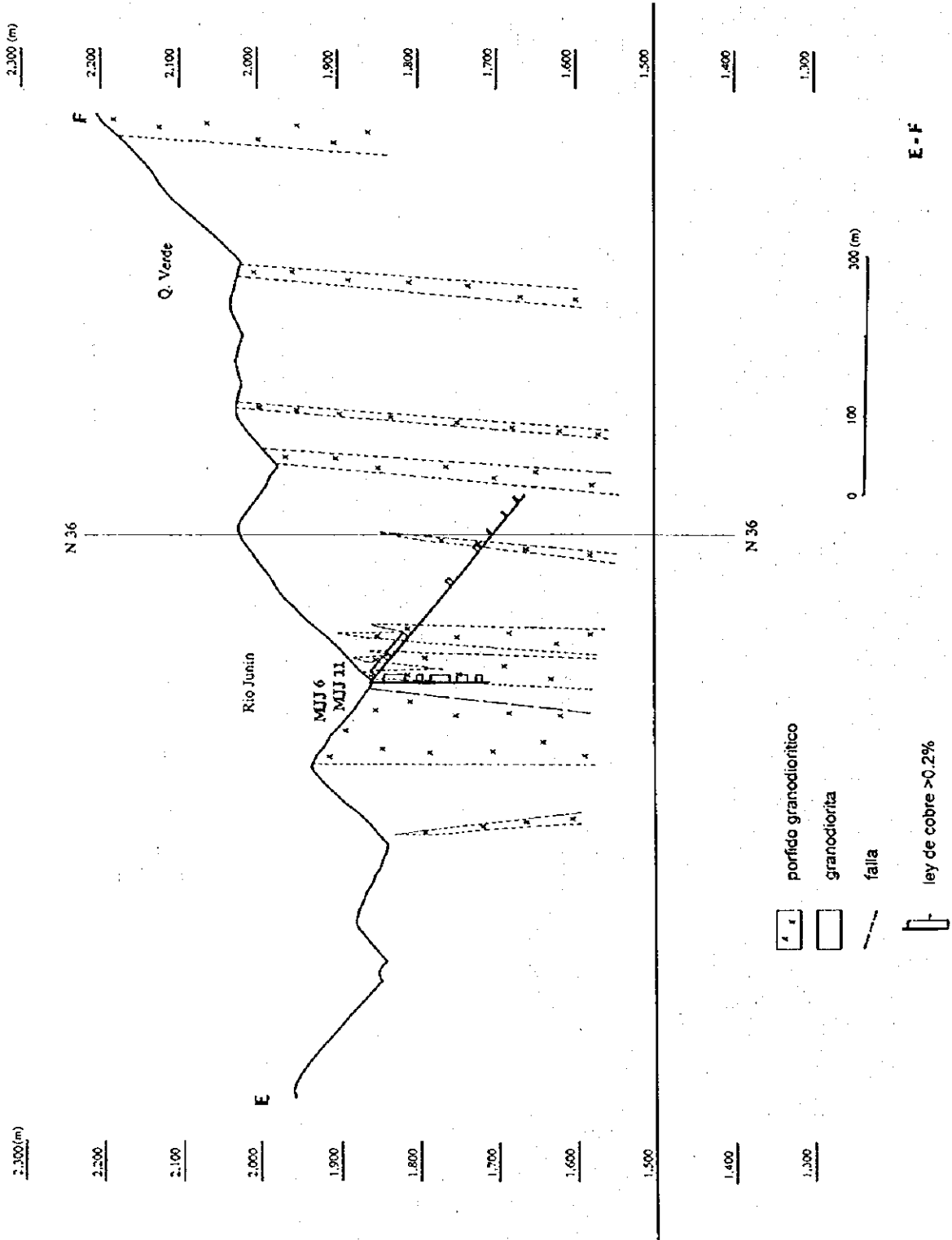
100-100000-100000-100000-100000-100000

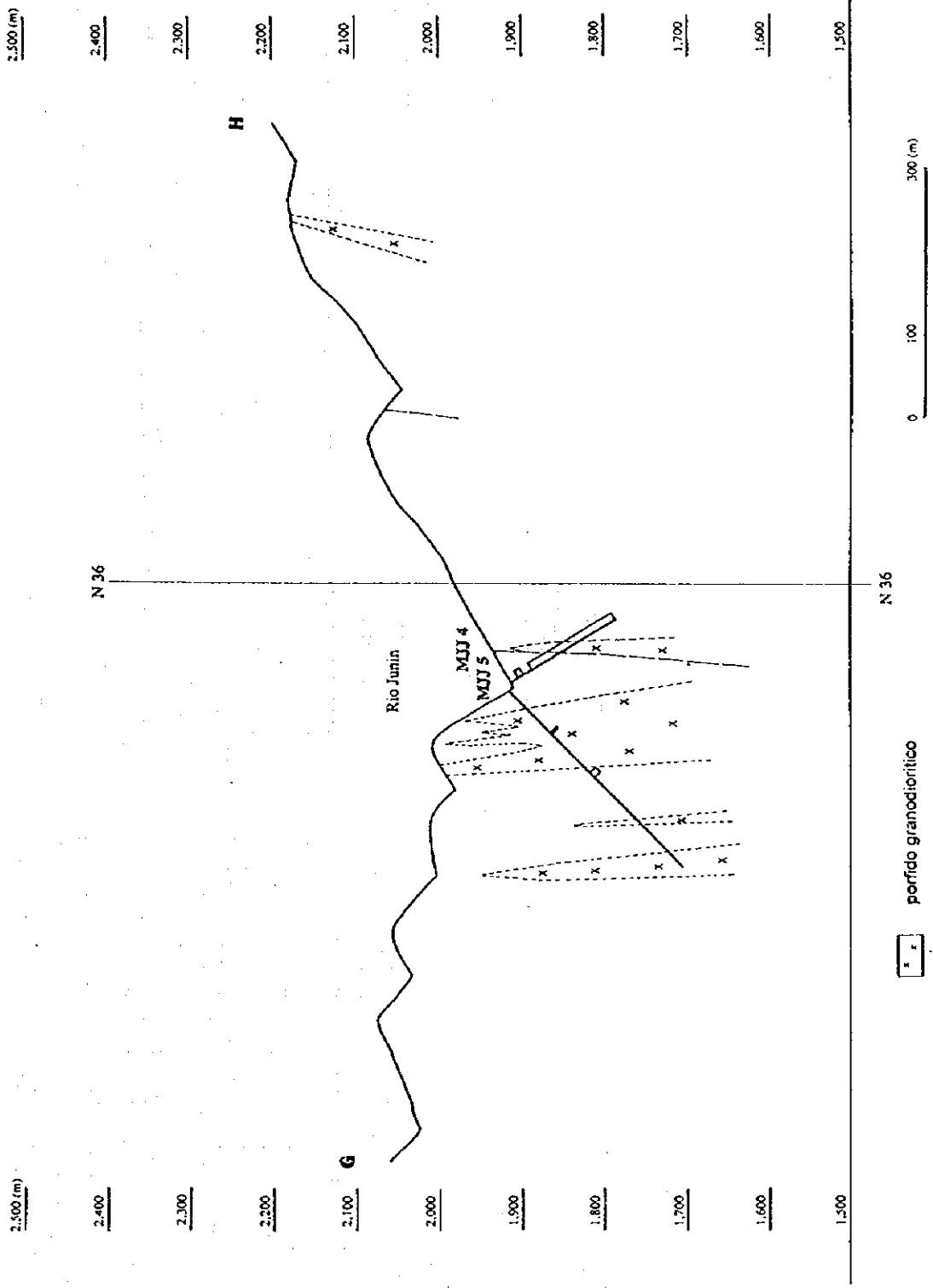






- x x porfido granodiorítico
- granodiorita
- - - falla
- sondeo

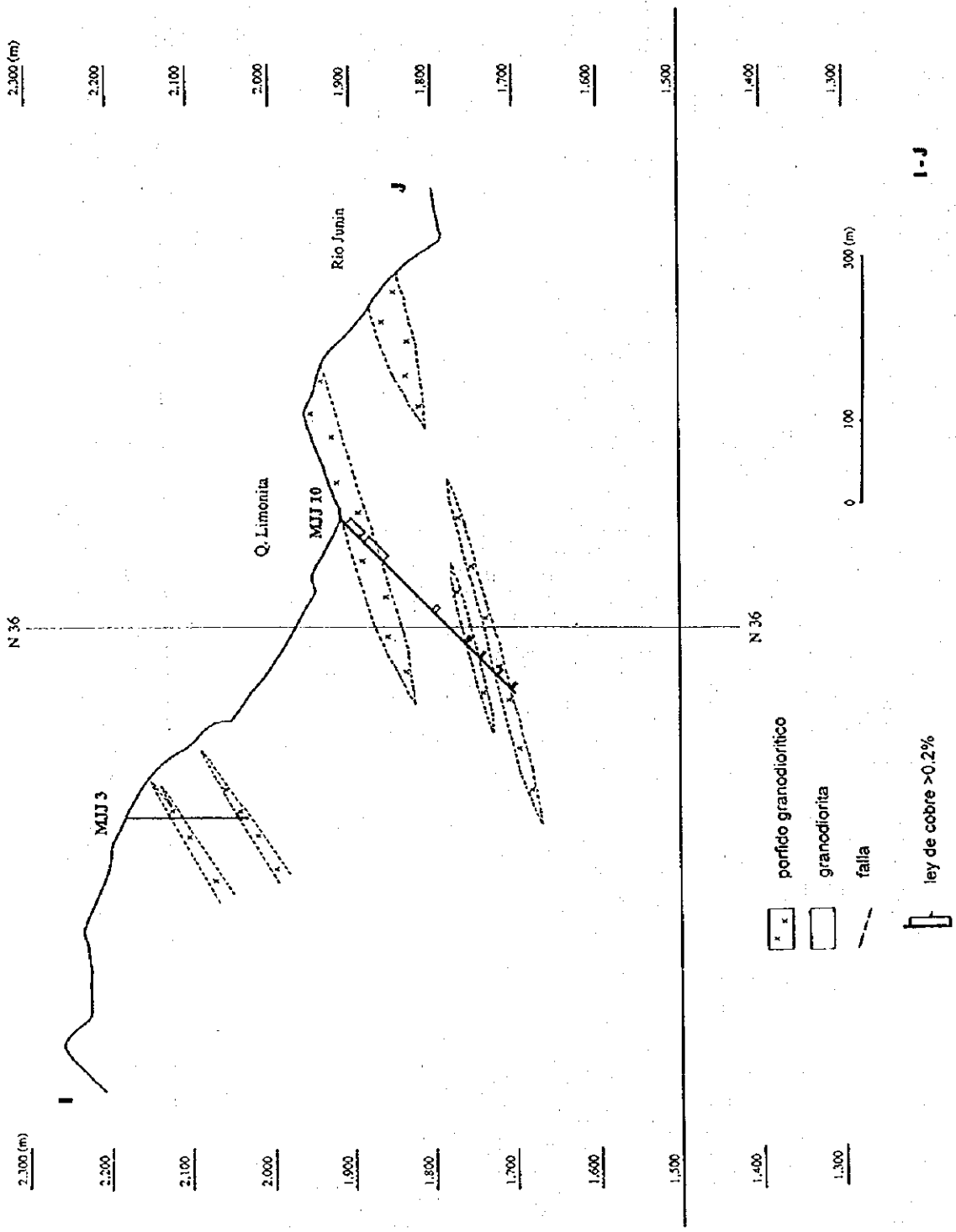




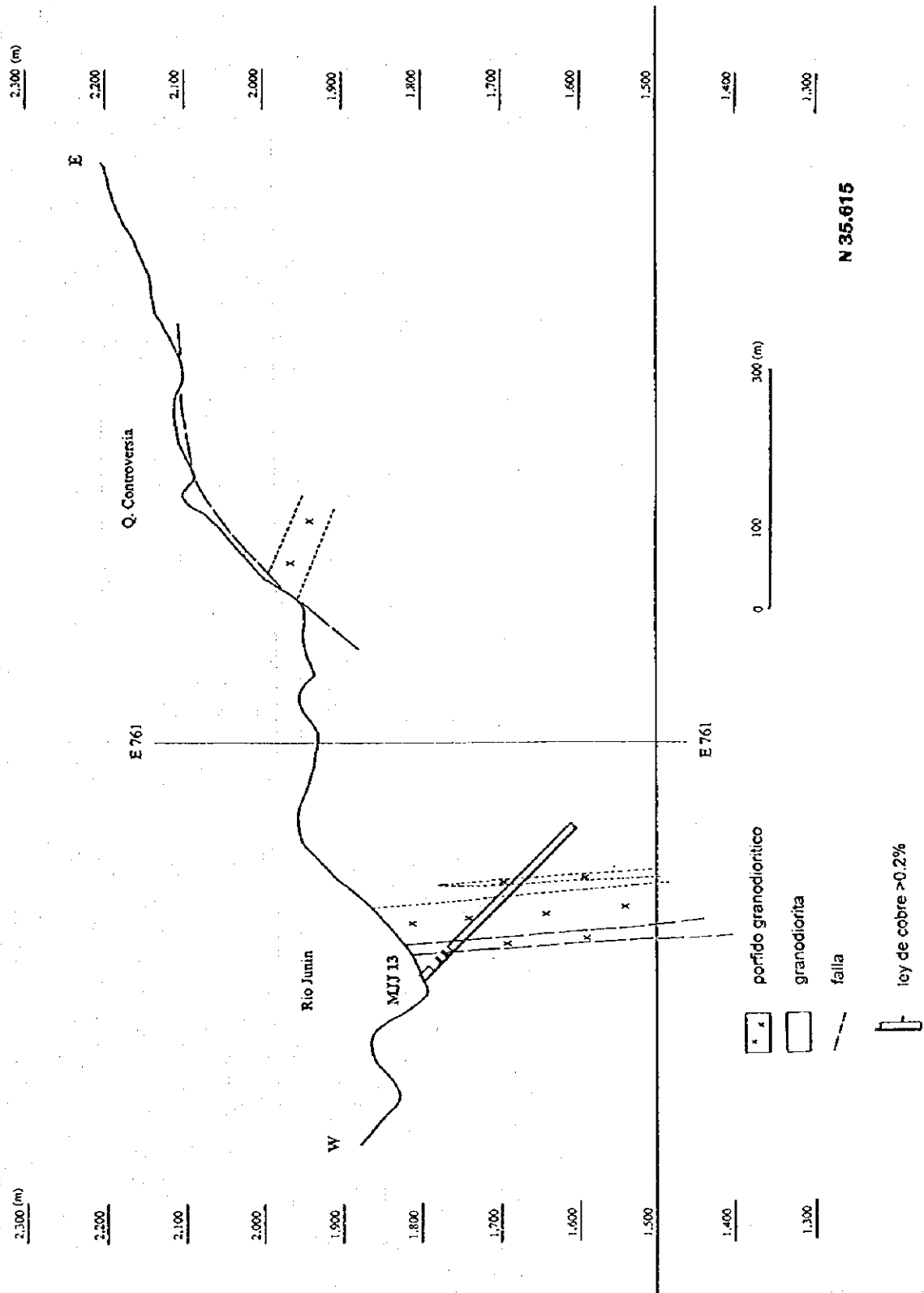


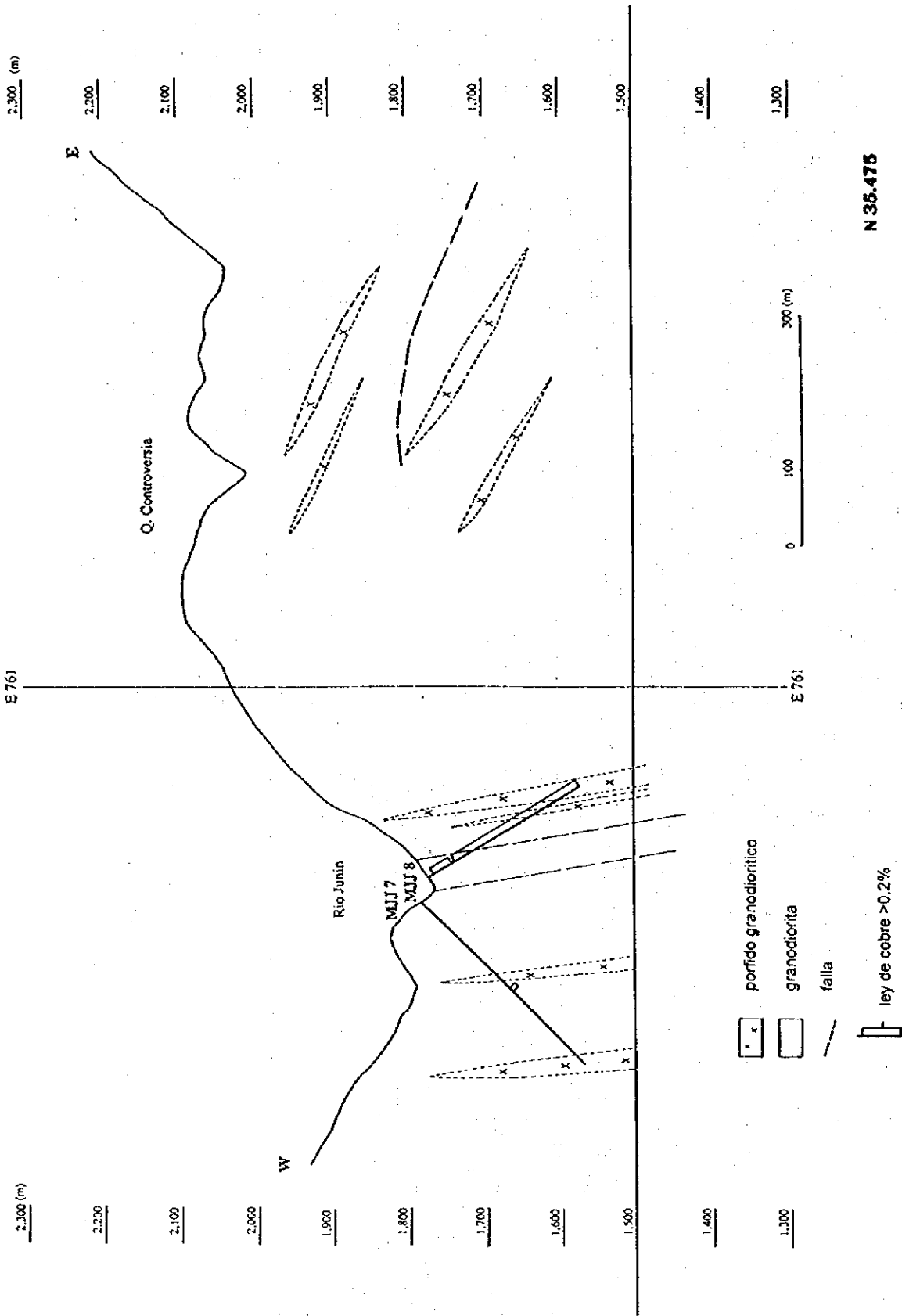


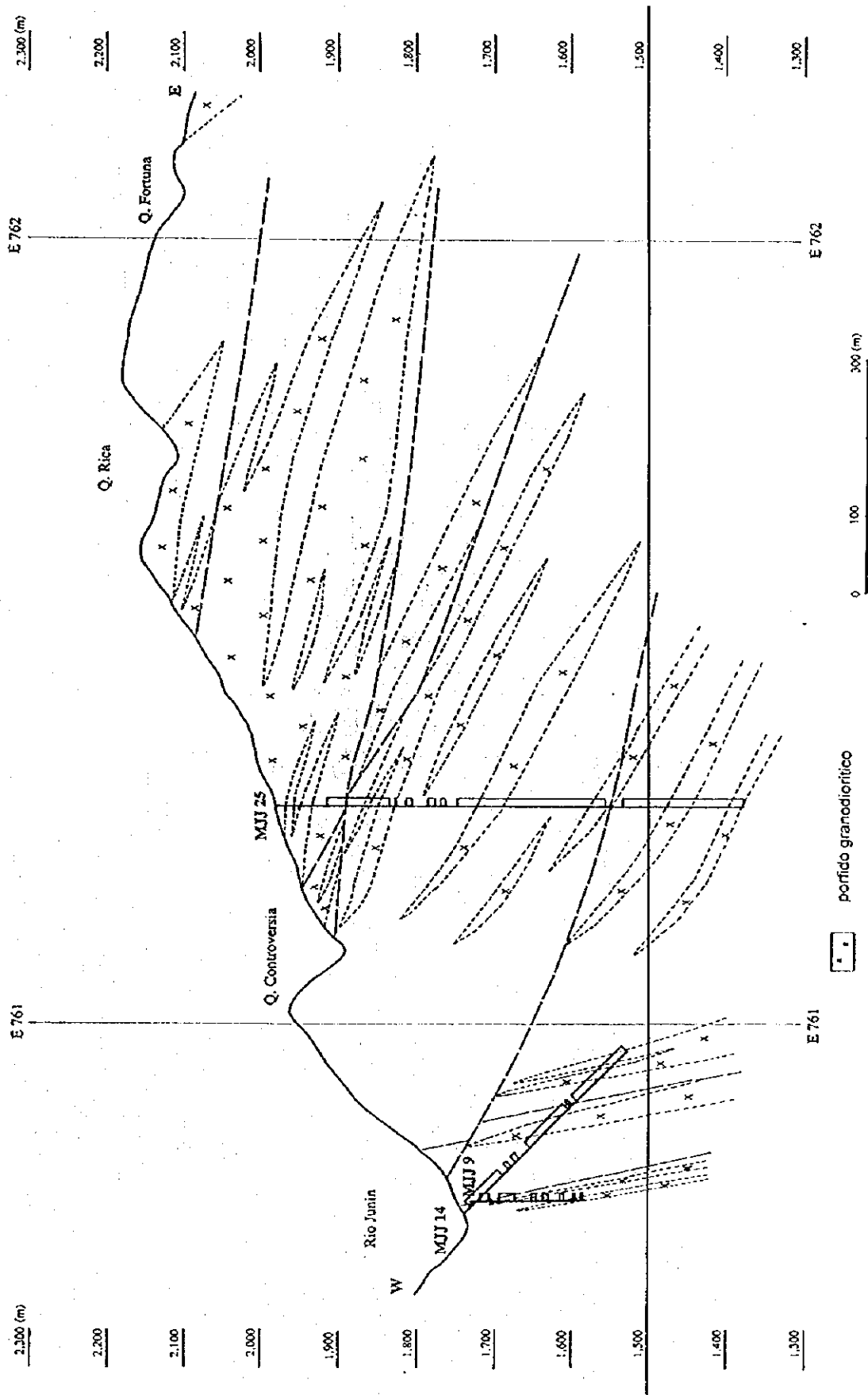
-  porfido granodioritico
-  granodiorita
-  falla
-  ley de cobre > 0.2%



I-J







N 35.291

- porfido granodioritico
- granodiorita
- falla
- ley de cobre >0.2%

2,300 (m)

2,200

2,100

2,000

1,900

1,800

1,700

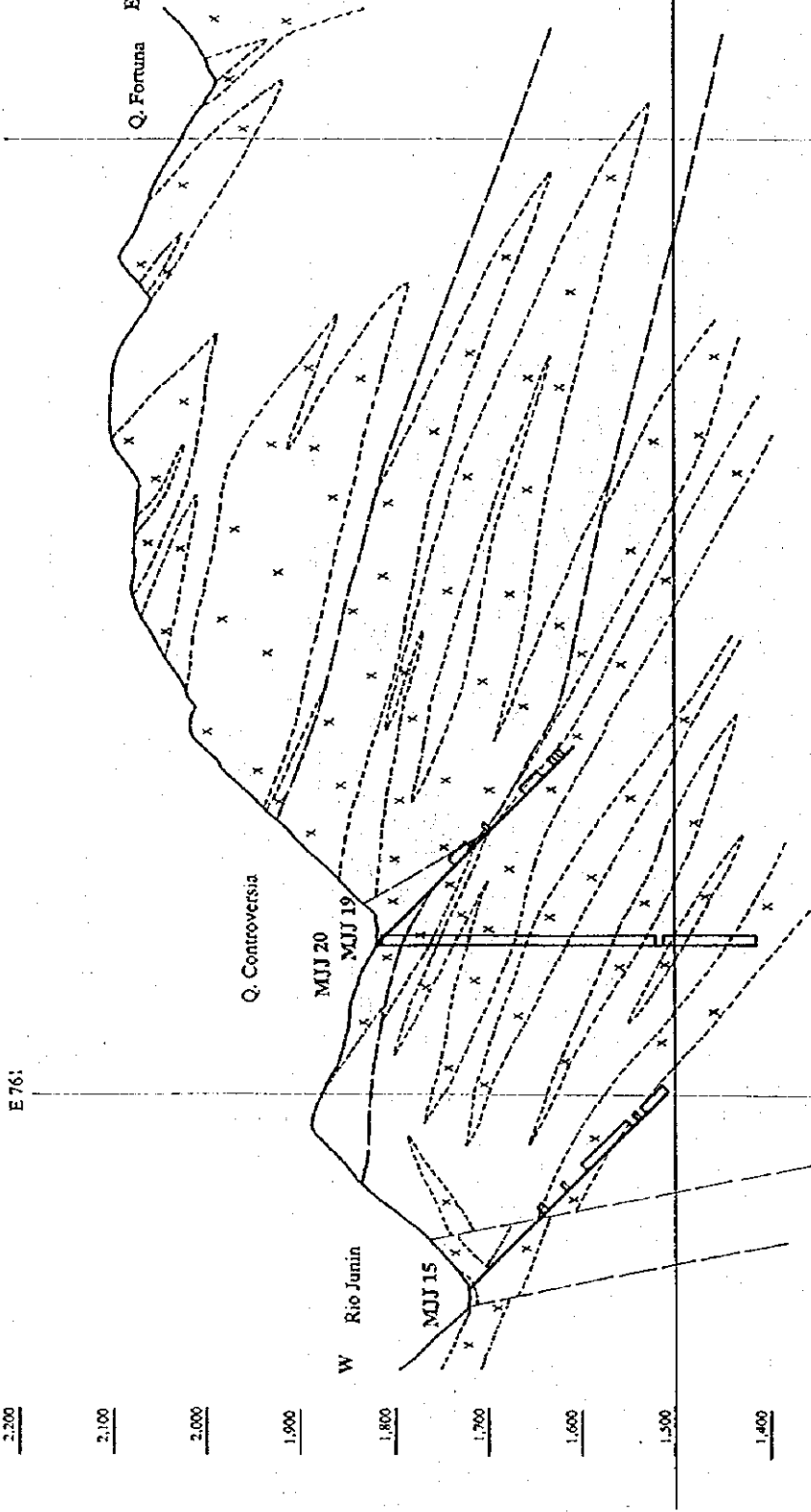
1,600

1,500

1,400

1,300

E 762



0 100 300 (m)

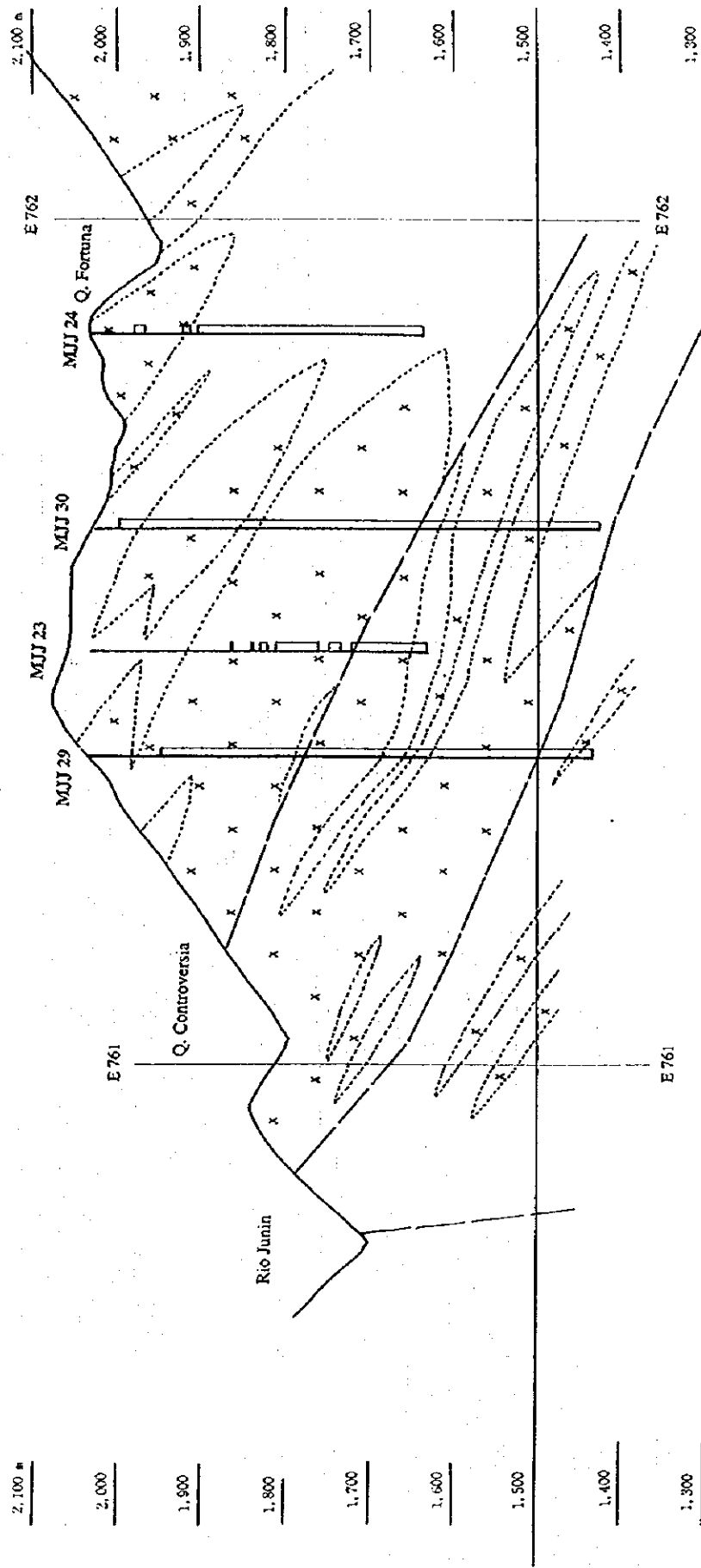
porfido granodioritico

granodiorita

falla

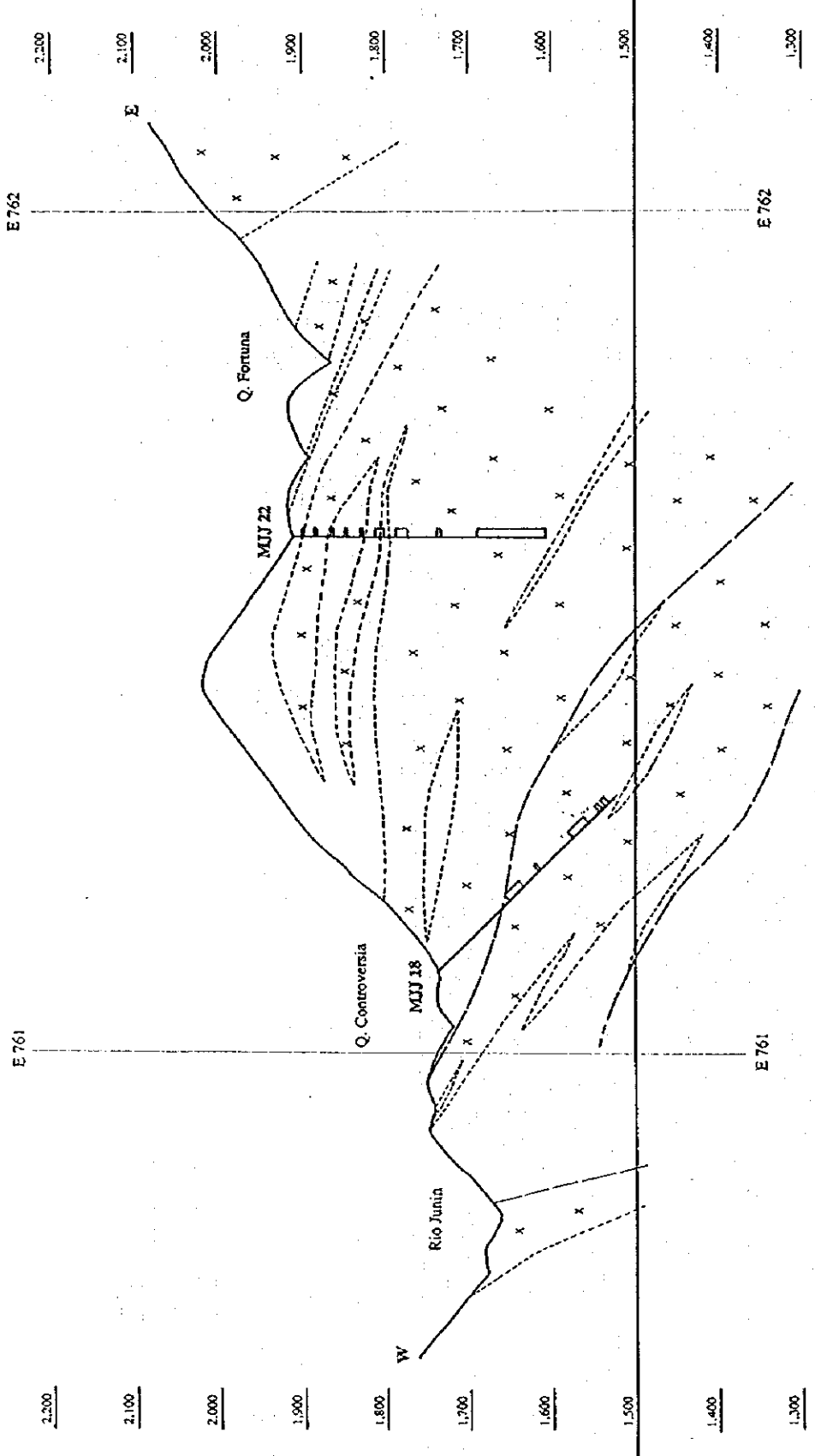
ley de cobre >0.2%

N 35.140

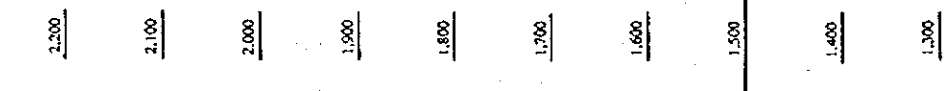


N 35.041

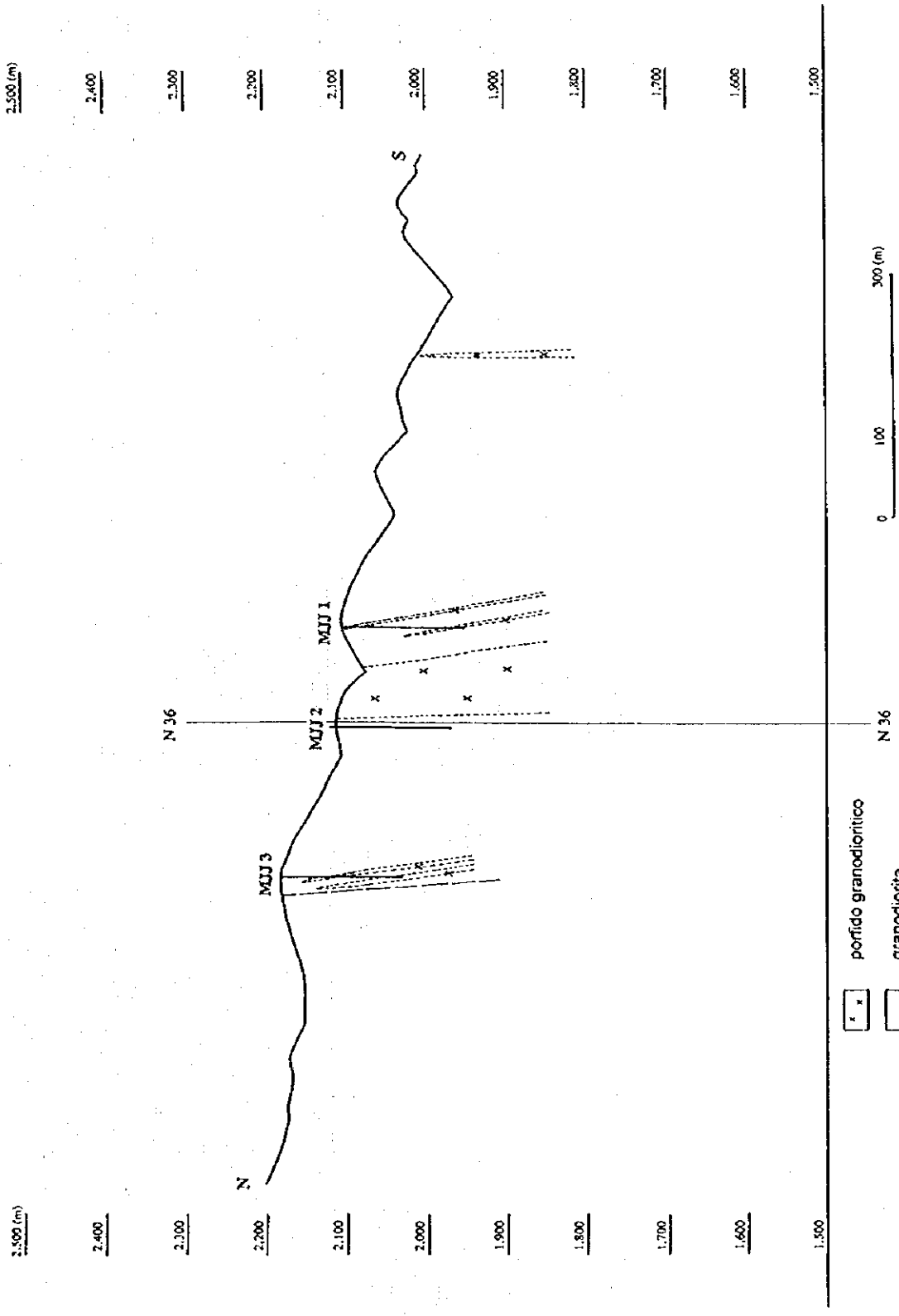
2,300 (m)







2,300 (m)



N 34.862



E. 760.270

-  porfido granodioritico
-  granodiorita
-  falla
-  ley de cobre >0.2%

2,300 (m)

2,200

2,100

2,000

1,900

1,800

1,700

1,600

1,500

1,400

1,300

2,300 (m)

2,200

2,100

2,000

1,900

1,800

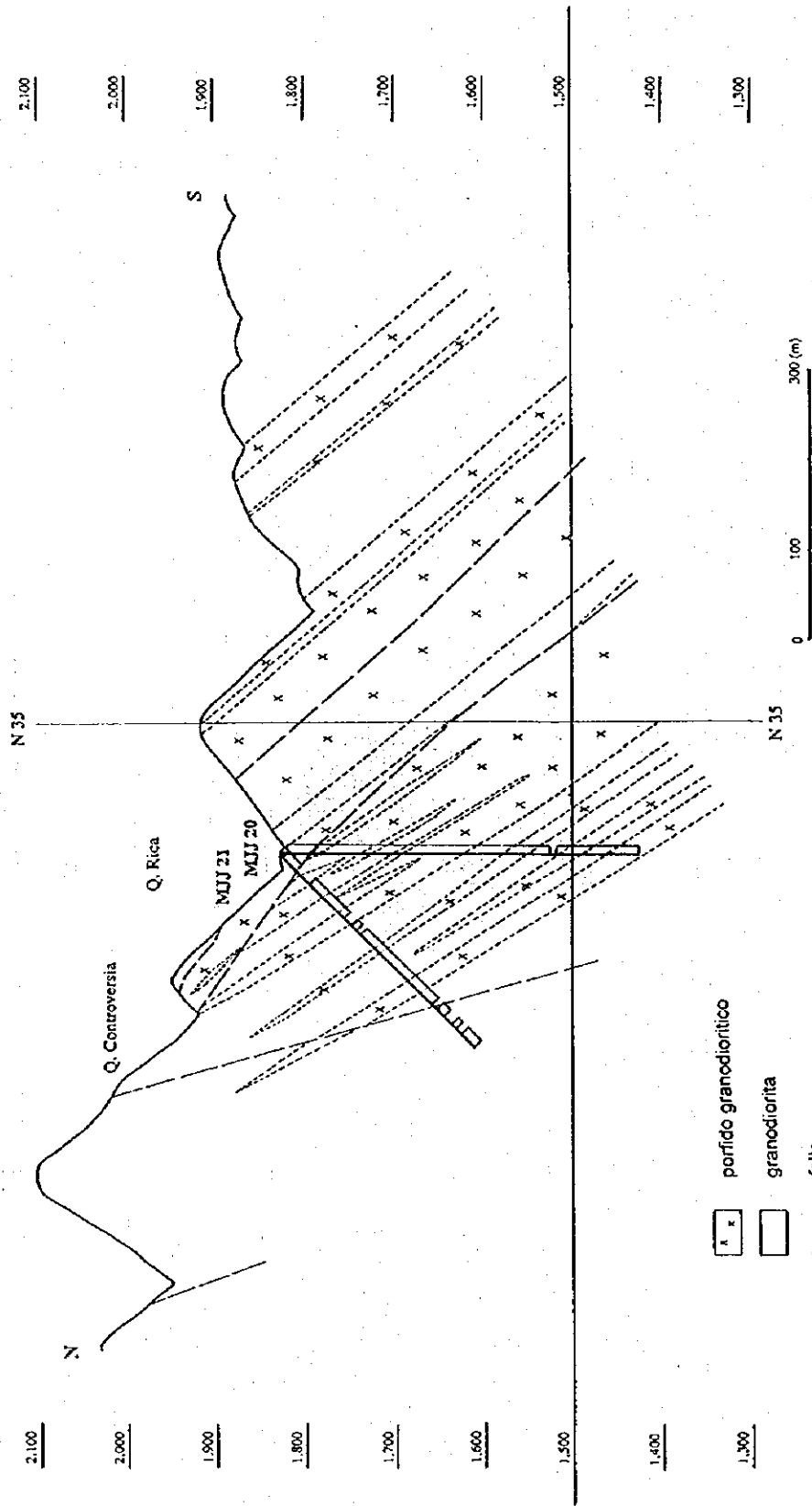
1,700

1,600

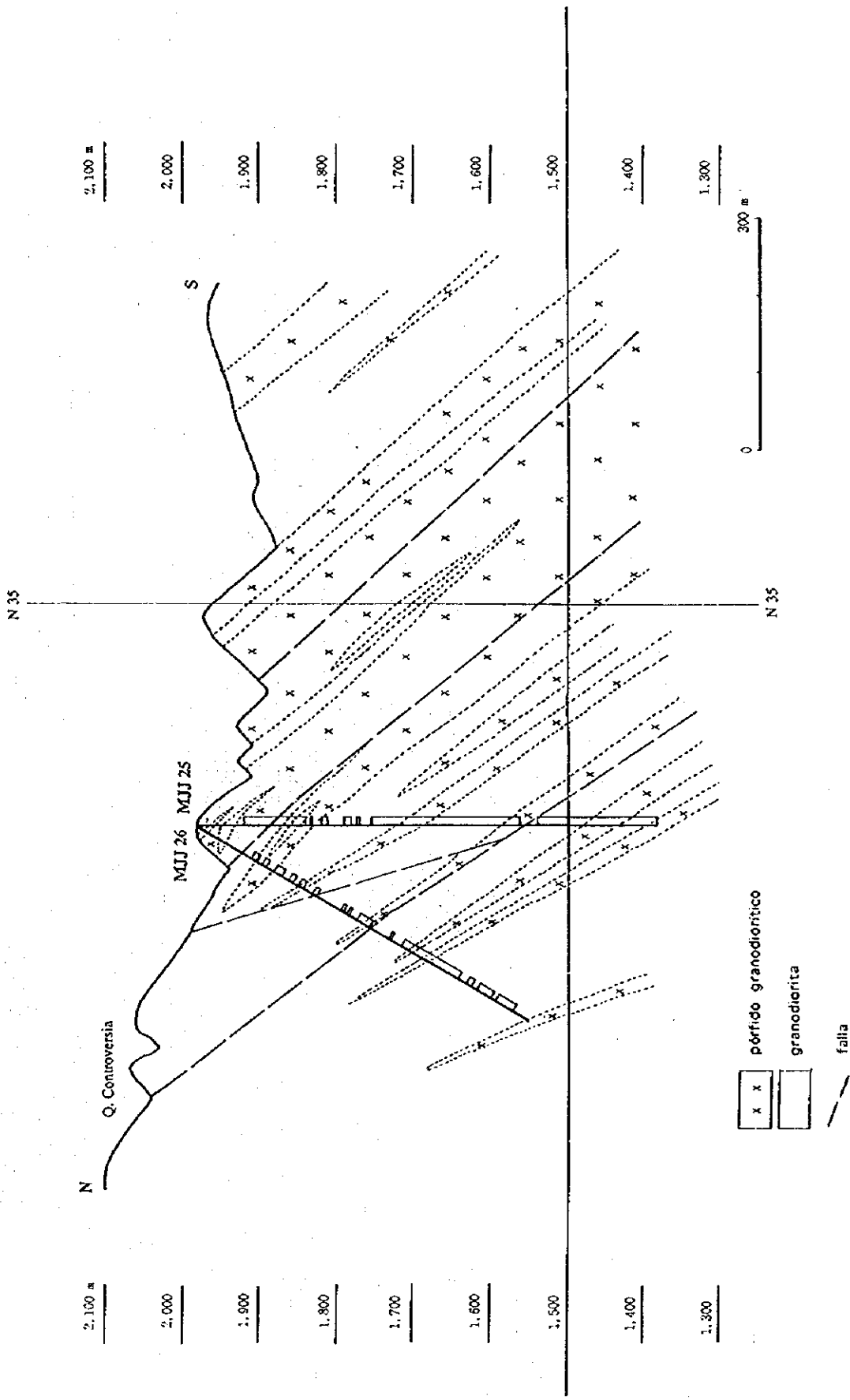
1,500

1,400

1,300



E 761.180



E 761-275

2,300 (m)

2,200

2,100

2,000

1,900

1,800

1,700

1,600

1,500

1,400

1,300

N 35

MUJ 29

Q. Rica

Q. Controversia

N 35

S

N

2,300 (m)

2,200

2,100

2,000

1,900

1,800

1,700

1,600

1,500

1,400

1,300

porfido granodioritico

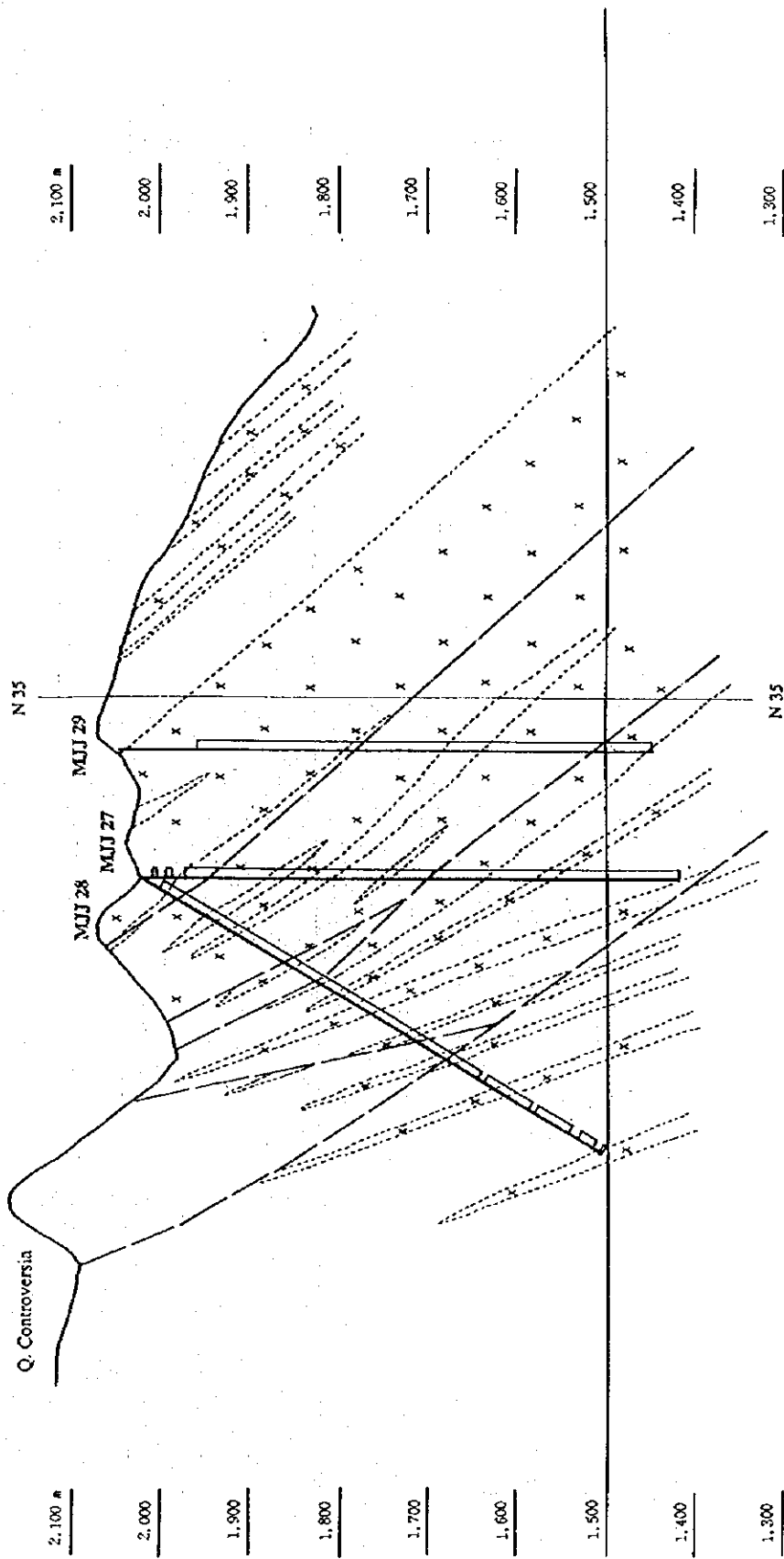
granodiorita

falla

ley de cobre >0.2%

0 100 300 (m)

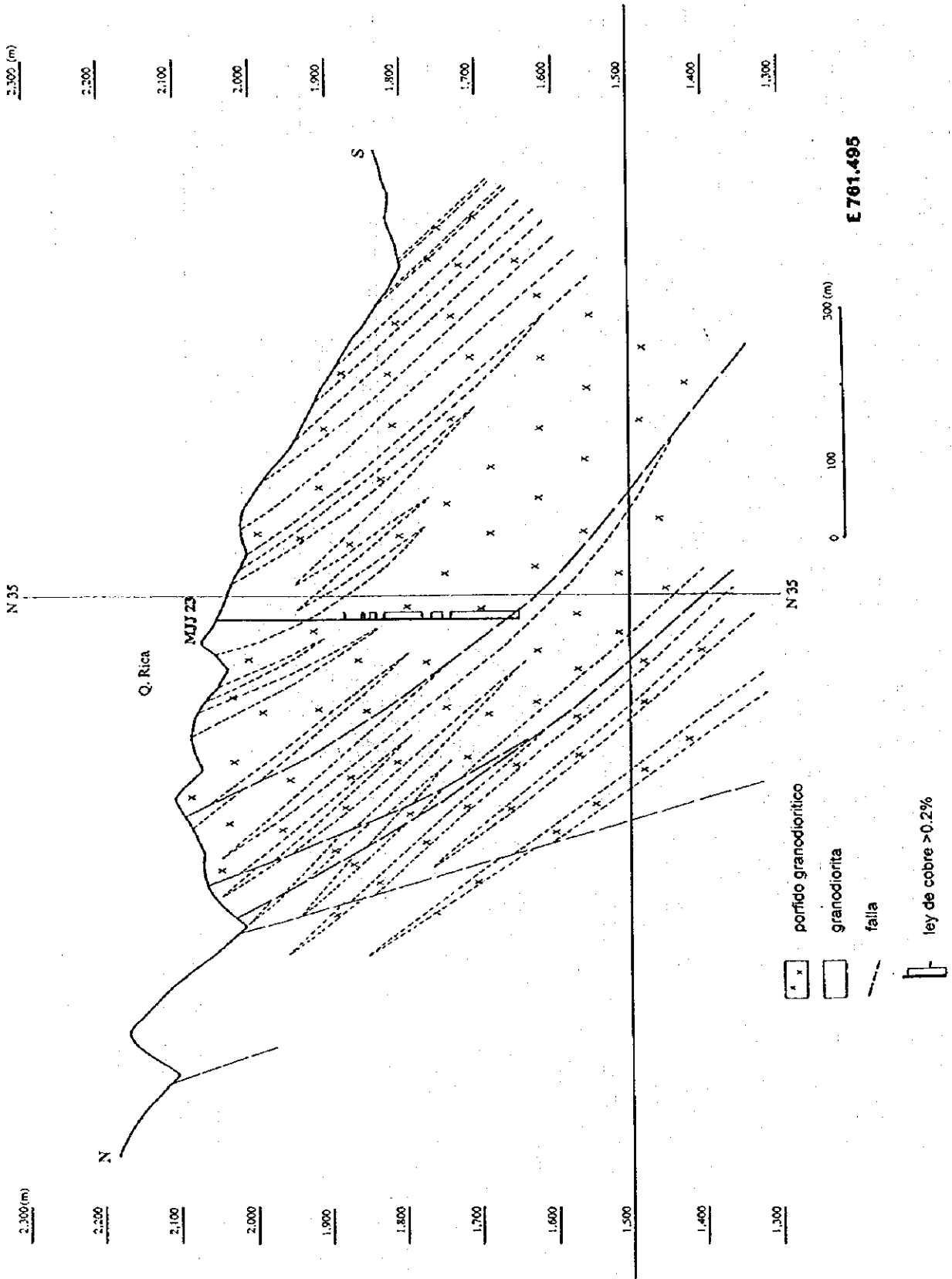
E 761.383

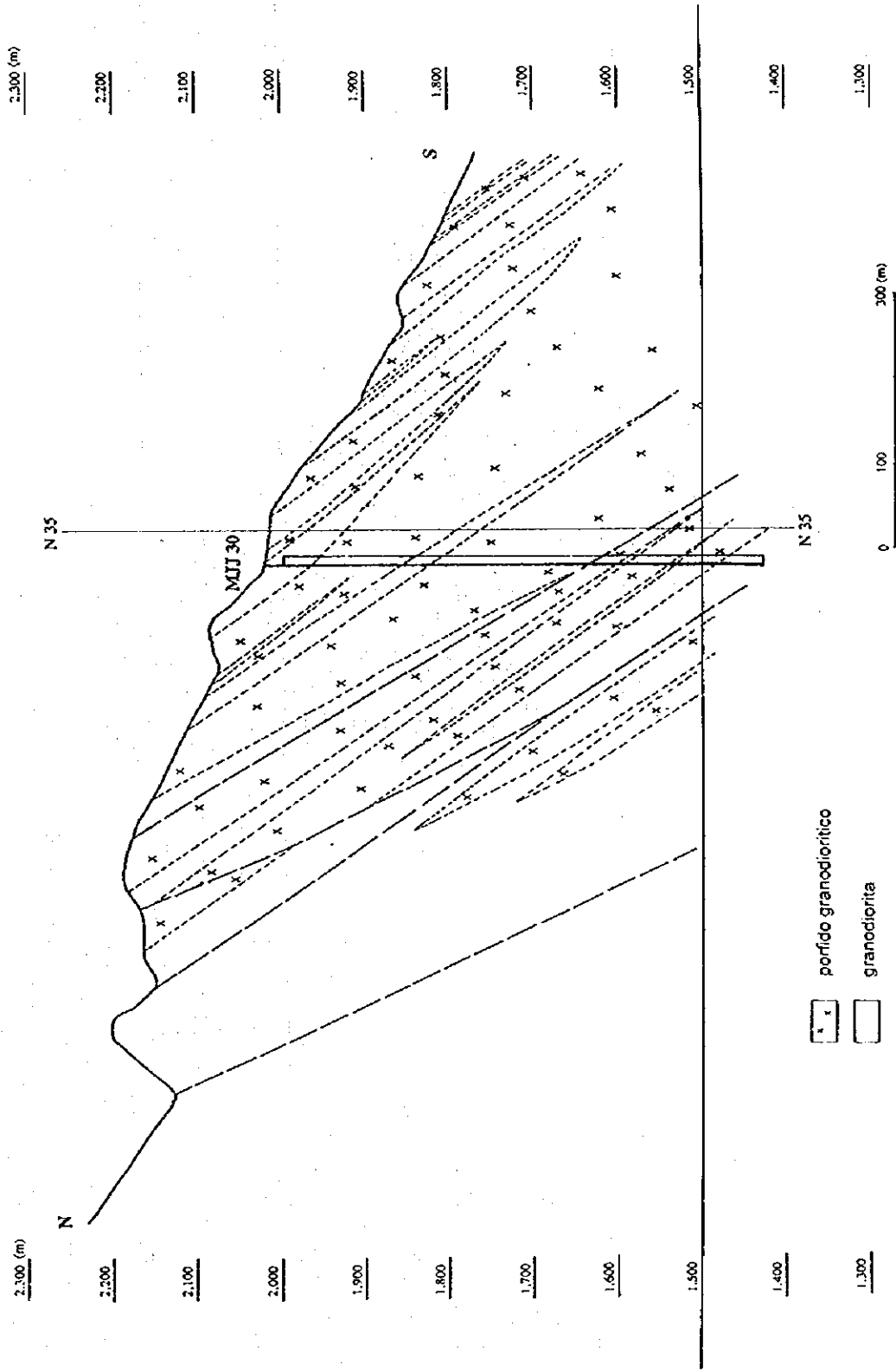


- x x pórfido granodiorítico
- granodiorita
- falla
- ley de cobre > 0.2%



E 761.430





E761.638

