

**CAMARA CHILENA DE LA CONSTRUCCION**

*Comisión de Integración*

**LA INGENIERIA Y LA INDUSTRIA MINERA EN CHILE**

por

Ingeniero **Luis Valenzuela Palomo (\*)**

Noviembre de 1993

*- 2810 -*

CAMARA CHILENA DE  
LA CONSTRUCCION  
Centro Documentación

## INGENIERIA Y LA INDUSTRIA MINERA EN CHILE

### 1. INTRODUCCION

La historia de Chile indica que desde siempre la minería ha estado ligada a la actividad económica nacional, siendo, sin lugar a dudas, el puntal de ésta. Ello debido a que Chile posee condiciones geológicas y meteorológicas cuya acción persistente en el tiempo ha permitido la formación de vastos yacimientos, algunos de los cuales constituyen las principales reservas mundiales como son las existencias de cobre, molibdeno, litio, nitratos naturales, yodo y boro.

Durante las dos últimas décadas la industria minera ha tenido un importante desarrollo en Chile. Efectivamente en el año 1991 la producción minera representó el 7.4 % del Producto Geográfico Bruto del país, siendo que la fuerza laboral que trabaja en el sector constituye sólo un 2.1 % del total nacional.

Las inversiones en este sector representan un porcentaje significativo del total de las inversiones del país y es así como en ese mismo año el sector de minería captó el 52.4 % de la inversión total extranjera. Según informaciones oficiales las inversiones extranjeras en el sector minero entre los años 1974 y 1990 ascendieron a un total de US\$ 2.990 millones, habiendo crecido substancialmente en los últimos 3 años.

La actual producción minera en América Latina representa un monto total del orden de US\$ 21.000 millones distribuidos según se muestra en el cuadro 1. Según se puede observar en el cuadro 1, sólo Brasil, Chile y Perú contribuyen con el 66 % de esa producción, pero es en el caso de la producción de cobre que la minería chilena alcanza una mayor relevancia, con el 71 % de la producción de América Latina.

**CUADRO 1**  
**PRINCIPALES PAISES PRODUCTORES**  
**EN AMERICA LATINA**

PAIS	MILLONES US\$	IMPORTANCIA RELATIVA
Brasil	6.635	31%
Chile	4.935	24%
Perú	2.380	11%
México	2.005	10%
Venezuela	1.450	7%
Colombia	618	3%
Bolivia	395	2%
Argentina	360	2%
Ecuador	105	<1%
Otros	2.117	10%
TOTAL	21.000	

**CUADRO 2**  
**PRODUCCION MINERA EN AMERICA LATINA Y CHILE**

	AMERICA LATINA	CHILE	IMPORTANCIA RELATIVA
METALES	PRODUCCION VALORIZADA MILLONES US\$	PRODUCCION VALORIZADA MILLONES US\$	%
Cobre	5.850	4.181	71
Hierro	4.050	176	4
Aluminio	3.125		
Oro	2.405	356	15
Zinc	1.775	36	2
Niquel	1.230		
Bauxita	715		
Plata	680	92	14
Estaño	245		
Plomo	240	1	
Otros	685	94	14
TOTAL	21.000	4.936	24

Para el quinquenio 1993-1997 se espera una inversión del mismo orden, es decir de aproximadamente US\$ 21.000 millones, con un aumento proporcional en los casos de Argentina, Perú, Bolivia y Ecuador y una disminución proporcional en el caso de Brasil, como se observa en el Cuadro 3. Nuevamente Brasil, Chile y Perú concentrarán la mayor parte, con un 60 % de la inversión total estimada.

En la actualidad en Chile se están realizando proyectos por aproximadamente US\$ 2.040 millones y estudios de factibilidad por US\$ 2.950 millones correspondientes a proyectos que se materializarían entre 1993 y 1996. Entre los primeros se puede mencionar a los proyectos de Candelaria, Quebrada Blanca y Río Colorado que totalizan del orden de US\$ 1.100 millones. Entre los segundos cabe indicar los proyectos de Mina Norte, Zaldívar y Collahuasi que podrían representar inversiones del orden de US\$ 1.600 millones.

Las características únicas representadas por el dinámico desarrollo de la industria minera chilena en las últimas décadas, involucrando minas a cielo abierto y subterráneas que se cuentan entre las más grandes del mundo, han representado para la ingeniería chilena un gran desafío.

## **2. EL PAPEL DE LA INGENIERÍA CHILENA.**

Hace algo más de dos décadas los proyectos mineros de mediano y gran porte estaban bajo la responsabilidad de empresas de ingeniería internacionales, generalmente del hemisferio norte, cabiéndole a las empresas de ingeniería nacionales apenas un papel secundario como subcontratistas de las primeras y a cargo de tareas específicas, todo esto dentro de un mercado imperfecto e inestable que impedía el desarrollo y consolidación de las empresas locales.

A partir de las actividades del estado en la gran minería metálica y en el petróleo comienzan a formarse en Chile grupos de ingeniería multidisciplinarios que van capitalizando una considerable experiencia y conocimiento técnico y que después de algunos años darán origen a grupos consultores estables, así como reforzarán otros existentes, todos ellos hoy con la capacidad de desarrollar proyectos mineros de variada complejidad.

CUADRO 3

CARPETA DE INVERSIONES MINERAS

PROYECCION QUINQUENIO 1993-1997

PAIS	MILLONES US\$	IMPORTANCIA RELATIVA
Chile	5.000	24%
Brasil	4.000	19%
Perú	3.500	17%
México	2.100	10%
Venezuela	1.500	7%
Argentina	1.300	6%
Bolivia	600	3%
Colombia	600	3%
Ecuador	600	3%
Otros	1.800	>8%
TOTAL	21.000	

Cabe destacar que la apertura del país al mercado internacional, que inicialmente causó un gran impacto en las empresas de ingeniería que estaban en pleno desarrollo, permitió posteriormente que éstas adquirieran las capacidades gerenciales y de organización que finalmente les han dado las características de calidad y eficiencia que les ha permitido competir con la ingeniería del hemisferio norte, consiguiendo sustituirla en porcentajes cada vez más importantes y en muchos casos en forma total.

Para lograr lo anterior no sólo ha sido necesario preparar técnicos y profesionales, adquirir tecnologías y desarrollar esquemas de organización y gerenciamiento modernos, sino que también se han debido desarrollar políticas y aptitudes para el trabajo dentro de asociaciones y "joint ventures" tanto con empresas del mismo país como de fuera, llegando a tomar inclusive el control y el liderazgo en proyectos pertenecientes a inversionistas extranjeros.

Se estima que actualmente en Chile se cuenta por lo menos con 10 firmas de carácter multidisciplinario de más de 100 profesionales, además de firmas consultoras especializadas en campos afines a la ingeniería de proyectos mineros como ser geología económica, ingeniería geotécnica, geoestadística, control e instrumentación, desarrollo de software, medio ambiente, medicina minera y otras especialidades. Esto representa una capacidad del orden de 5 millones de horas hombre anuales o más.

### 3. DESAFIOS PRESENTADOS POR LOS PROYECTOS MINEROS.

Son varios los aspectos que dan ciertas características especiales a los proyectos mineros en Chile y por cierto en el sur de América Latina, entre los cuales se pueden indicar los siguientes:

- \* Diseño y construcción de estructuras y plantas de procesos relativamente complejos a gran altitud, ya que una gran parte de los yacimientos importantes se encuentran en la cordillera, en condiciones geográficas y climáticas adversas.
- \* Necesidad de incluir en los diseños medidas adecuadas que permitan mitigar el impacto ambiental, aspecto cada vez más crítico en los proyectos mineros no sólo por exigencias de la legislación sino que también por las exigencias de los organismos financieros y compañías de seguro.
- \* Fuertes restricciones de plazo en la elaboración de los proyectos, originadas por el alto costo financiero representados por inversiones muchas veces de varios cientos de millones de U\$.
- \* Necesidad de optimizar los proyectos no sólo del punto de vista de minimizar la inversión inicial sino que al mismo tiempo minimizar los costos de operación, que son los que permitirán que un determinado proyecto mantenga su competitividad en el futuro.
- \* En el proyecto de las labores mineras mismas así como en el caso de otras obras como los depósitos de residuos mineros, el plazo de construcción se confunde con el plazo de operación y por lo tanto corresponden a obras con un dilatado tiempo de construcción que puede ser de varias decenas de años.

- \* Efectivamente, mientras que en las obras civiles se diseña y construye obras que deben ser estables y seguras en períodos de tiempo relativamente largos, acordes con la vida útil de las mismas, en la minería se requiere en general de obras lo más económicas posible, que deben ser estables en general durante el período de operación minera.

Este sería el caso por ejemplo de galerías y piques para la explotación de yacimiento subterráneos, labores que van siendo abandonadas a medida que avanza la explotación o que son destruidas por el propio avance de la explotación.

#### 4. ALGUNOS EJEMPLOS DE INGENIERIA CIVIL APLICADA A LA MINERIA

Todos estos aspectos han llevado al desarrollo y aplicación de diversas tecnologías que han permitido el desarrollo de muchas obras que están a la vanguardia de la ingeniería mundial, como las que se describen en el capítulo siguiente en relación al caso específico del Proyecto de Expansión Los Bronces y otros como los que a modo de ejemplo se indican a continuación; para el caso de ingeniería civil aplicada a la minería.

##### **Puertos para Carbón**

Puertos para carga y descarga de carbón en Pecket (1800 m de longitud y 200 TPH) y Tocopilla (1500 TPH) respectivamente, para barcos de 70.000 DWT. Ambos proyectos recibieron en 1988 los premios Excelencia y Honor de la New York Association of Consulting Engineers (NYACE) y de la Association of Consulting Engineers Council (ACEC).

##### **Presas de Relave**

En relación a presas, que son construidas por el método de relleno hidráulico utilizando la fracción gruesa de los relaves (o colas del proceso de recuperación de minerales) para constituir el prisma o muro resistente, la ingeniería chilena ha evidenciado un significativo desarrollo tecnológico, impulsado tanto por la presión que representa el gran aumento en la cantidad de relaves a ser depositados como por las condiciones sísmicas que imperan en Chile, las que lo caracterizan como uno de los países con mayor riesgo sísmico del mundo.

Esto ha llevado a un importante desarrollo de investigaciones aplicadas y de complejos métodos de análisis numérico que han permitido el adecuado análisis de estas estructuras ante condiciones extremas.

Esta actividad ha sido reconocida por la Sociedad Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones (ISSMFE), al crear el Comité Técnico de Presas de Relaves y designar a Chile como la sede de dicho Comité. Un hecho similar ha acontecido en el Comité Internacional de Grandes Presas (ICOLD), el que ha designado a Chile como responsable de los aspectos de diseño y comportamiento sísmico de tales obras.

El ejemplo más reciente y uno de los más importantes en esta área lo constituye la presa de relaves de Las Tórtolas, actualmente en construcción para la Cía. Minera Disputada de Las Condes en la zona central de Chile, como parte del Proyecto de Expansión Los Bronces que se describe más adelante. Es una presa de arena construida por el método de relleno hidráulico de aguas abajo, la cual cuando alcance su altura máxima de 150 m será capaz de contener 750 millones de m<sup>3</sup> de relaves mineros y en cuyo diseño se ha utilizado nuevos métodos de análisis dinámico por diferencias finitas, que permiten garantizar una adecuada estabilidad ante cargas estáticas y sísmicas.

En la construcción de esta presa se ha empleado, entre otros aspectos técnicos de singular interés, las técnicas de compactación dinámica para los suelos de fundación, geotextiles en combinación con agregados pétreos y tuberías plásticas deslizantes para constituir drenes mixtos, etc.

El ejemplo anterior no sólo demuestra la actual utilización de las más sofisticadas técnicas de análisis y construcción a fin de garantizar un adecuado nivel de seguridad en un tipo de estructura que, en general, es considerada vulnerable a las sollicitaciones sísmicas, sino que además sirve para demostrar la adaptación de técnicas de diseño y construcción típica de la ingeniería civil a una obra minera.



## **Fortificación de Labores Subterráneas**

Un importante aporte de la ingeniería civil chilena a la industria minera, colaboración en la cual ambas han salido beneficiadas con el desarrollo de nuevas tecnologías y la adquisición de importantes experiencias, se refiere al diseño de labores subterráneas en minas explotadas por el sistema de hundimiento de bloques (block caving), como es el caso de las minas subterráneas de las Divisiones Salvador y El Teniente, de Codelco Chile.

En estos dos yacimientos señalados, durante los primeros años de 1980 y ante una situación de paulatino crecimiento de los costos de fortificación, se comenzó a introducir técnicas modernas del diseño de fortificación de túneles.

En general, se aplicaron los conceptos básicos del sistema de fortificación a veces llamado NATM, que en su esencia considera el máximo aprovechamiento de las propias cualidades resistentes de la roca para garantizar la estabilidad de las labores. La aplicación de este concepto conduce a una completa redefinición de las responsabilidades de los distintos elementos que componen el equipo de diseño y construcción, ya que se requiere tomar decisiones adecuadas en momentos oportunos.

Es así como fueron introducidos la utilización masiva de shotcrete, pernos de anclaje activos, diseños específicos de tronaduras a fin de garantizar la integridad de la roca, empleo de diseños geométricos optimizados, conceptos que fueron desplazando paulatinamente a los sistemas de fortificación más tradicionales, que en el caso específico de División Salvador estaban representados por marcos metálicos de tipo deslizante.

Si bien esta es una metodología relativamente común en la ingeniería civil, es un paso de gran importancia en la industria minera subterránea, sobre todo si se tiene en cuenta que esta explotación, así como la construcción de las labores que la hacen posible, se realizan en un ambiente muy dinámico, de altas concentraciones de tensiones que, además, varían en magnitud y en ubicación en el espacio a medida que avanzan los frentes de hundimiento.

Idéntica experiencia se ha tenido posteriormente en la mina subterránea de la División El Teniente, donde la ingeniería civil, tanto en el diseño como en la construcción de labores de acceso y de producción, ha hecho importantes aportes a la solución de algunos de los graves problemas de fortificación asociados a la compleja geometría de la mina y a la ocurrencia

de fuertes estallidos de roca o "rockbursts".

En el análisis y control de estos problemas se ha recurrido al uso de sofisticados modelos tridimensionales basados en los métodos de elementos finitos y elementos de borde, así como también en elementos discontinuos que permiten modelar estructuras geológicas a fin de estudiar problemas específicos de concentración de tensiones, bajo condiciones variables y dinámicas, así como a la utilización de métodos de registro o interpretación geofísica de estallidos menores de roca o "ruidos de roca".

### **Consideraciones de Medio Ambiente en Proyectos Mineros**

Considerando que la minería es una de las actividades industriales que mayor impacto puede tener sobre los ecosistemas, la creciente presión de la opinión pública para la adecuada protección del medio ambiente ha llevado a que estos conceptos se vayan incorporando en forma cada vez más importante a la propia concepción de las obras de ingeniería, así como también a la construcción y operación de las mismas.

Considerando que las minas actualmente en explotación o en fase de diseño en Chile se encuentran relativamente cercanas a zonas agrícolas, zonas pobladas o cursos importantes de agua, es fácil visualizar la trascendencia que tiene la adopción de medidas adecuadas de mitigación del impacto ambiental para estas obras.

Es así como el concepto de "cero descarga de filtraciones" en los cursos de agua superficiales o en los acuíferos existentes, es un criterio de diseño que ha obligado a desarrollos tecnológicos principalmente desde el punto de vista del análisis y concepción de los elementos que permitirán garantizar estas medidas de mitigación; pero también en los métodos de monitoreo y control de efectividad de tales medidas.

Recientemente, el depósito de relaves de Las Tórtolas ya mencionado en párrafos anteriores, así como también el depósito de relaves de El Torito (de la misma Cía. Minera Disputada de Las Condes), han incorporado el concepto de "cero descarga de las filtraciones" en sus consideraciones de diseño. Esta práctica ha significado que tanto el muro de partida como la construcción gradual de la presa de relaves, se hacen trabajando con zanjas interceptoras de flujos y sistemas de drenes colectores, que se complementan con un manejo adecuado de la laguna de agua clara y un sistema de recirculación de esta agua a las plantas de tratamiento de minerales.

En este ejemplo, el desarrollo tecnológico más reciente se manifiesta claramente en los métodos de análisis de filtraciones y de atenuación de solutos de las aguas infiltradas; utilizando modelos computacionales apoyados en ensayos de laboratorio, es posible modelar estos efectos y predecir en forma racional cual podría ser el impacto, para una vez conocido éste proceder al diseño e implementación de las medidas de mitigación más apropiadas.

En otros casos más críticos, en los cuales están involucrados elementos químicos más peligrosos, se ha recurrido al diseño de obras especiales con sistemas de impermeabilización, generalmente constituidos por membranas sintéticas y drenes colectores, de uso intensivo principalmente en pilas de lixiviación y depósitos enterrados.

#### **5. EXPANSION LOS BRONCES: UN CASO ESPECIALMENTE EXITOSO**

Uno de los proyectos mineros más desafiantes y de mayor envergadura abordados por la ingeniería nacional en los últimos años es la expansión de la mina Los Bronces, propiedad de Compañía Minera Disputada de Las Condes, empresa que desde 1978 pertenece a la Exxon Minerals Chile Incorporated. El yacimiento Los Bronces, que posee una de las reservas de cobre más grandes del mundo, está ubicado en la alta cordillera a unos 70 km al noreste de Santiago, en el cajón Los Bronces, en la cabecera del estero San Francisco, entre 3400 y 4100 m sobre el nivel del mar.

El objeto de la expansión de Los Bronces, que comenzó su marcha blanca en mayo pasado, cinco meses antes de lo proyectado inicialmente, es triplicar la capacidad de tratamiento de mineral desde 11,5 mil a 37 mil toneladas por día, para lograr una producción anual de 120 mil toneladas de cobre fino.

El proyecto de expansión de la mina Los Bronces demandó una inversión global de US\$440 millones, inversión que equivale aproximadamente al 2% del PGB del país. El proyecto incluyó la expansión de la mina, la instalación de la nueva planta de molienda, la construcción del mineroducto y de la nueva planta concentradora de Las Tórtolas.

El proyecto, que abarcó desde el área de Los Bronces en la alta cordillera, entre 3400 y 4100 metros, hasta el área de Tórtolas en el valle central, a solo 700 metros sobre el nivel del mar, incluyó las siguientes obras principales:

## **Preparación de la Mina**

Un 18 por ciento de la inversión total del proyecto, se gastó en adaptar la mina Los Bronces al nuevo nivel de explotación y en adquirir equipo minero y poner en operaciones una moderna flota compuesta por 17 camiones diesel de 240 toneladas, una pala electromecánica de 53 y<sup>3</sup>, la más grande del mundo en su tipo, dos palas hidráulicas, dos cargadores y tres perforadoras.

La preparación de la mina significó remover 12 millones de toneladas de estéril y habilitar áreas para su depósito seguro así como del estéril que continuará siendo removido. De estos depósitos se debe destacar el de Infiernillo Alto, el cual ha sido habilitado sobre un glaciar de roca que registraba desplazamientos anuales del orden de 1 m por año, los cuales después de depositados los 12 millones de toneladas iniciales han aumentado localmente a más de 5 m por año. Este es un caso inédito en el mundo y que ha requerido del desarrollo de modelos teóricos y programas de monitoreo de gran complejidad.

## **Ampliación de la Planta en Los Bronces**

En el área de Los Bronces, el proyecto de expansión consideró también instalaciones para maestranza y talleres de apoyo, bodega, casa de cambio y comedores, ampliación y reubicación de oficinas, casinos y alojamiento de personal. Además se construyó un nuevo camino de acceso por el valle del río San Francisco a una elevación superior al depósito de lastre.

Es importante destacar que Los Bronces es la única de las áreas geográficas en que se materializó el proyecto que cuenta con operaciones industriales, las que debieron mantenerse permanentemente en actividad y con mínimas interferencias. Además, por su ubicación en la cordillera y su altura, registra precipitaciones de nieve de hasta 10 metros en el período invernal.

Esas realidades, que afectan los costos y plazos de construcción, la productividad y la producción de cobre, hicieron necesario el desarrollo de una intensa planificación, que se inició en los estudios de factibilidad y que continuó con gran detalle durante todo el período de construcción del proyecto.

## **Nuevas Instalaciones en el Area de Los Bronces**

El mineral proveniente de los puntos de explotación de la mina es transportado en camiones de 240 toneladas de capacidad hasta una estación de chancado primario fija, y el lastre se deposita en un depósito de estéril en el área.

La planta de chancado primario con una capacidad de 3.300 TPH, consiste en un edificio de hormigón armado y vigas metálicas adicionales de refuerzo, construido al interior de un pique de 15 x 22 m de sección y 33 m de altura, excavado en la roca.

El sector de almacenamiento de mineral consiste en un edificio de estructura metálica en forma de A, que posee 22 cerchas, de 105 m de largo por 76 de ancho, y tiene capacidad para 45 mil toneladas de mineral.

En la planta de molienda, las dos naves que existían fueron ampliadas en 130 x 1.000 m<sup>2</sup>, para alojar en ellas un nuevo molino semiautógeno de 13.000 HP, y un molino de bolas de 6.500 HP. De esta forma el molino semiautógeno preexistente formó la sección 1 con el recientemente instalado, y el nuevo molino SAG con el de bolas preexistente, constituyó la sección 2.

En cada sección los molinos SAG y de bolas están enfrentados y descargan sobre un harnero, y separan el sobretamaño 3/4". Posteriormente mediante correas transportadoras independientes los pebbles son trasladados a una torre de transferencia en la que es posible distribuirlos a la planta de chancado de pebbles o a los molinos semiautógenos.

Cada molino de bolas posee un sistema de bombeo y clasificación de ciclones cuyas descargas retornan a los molinos, y cuyos rebases alimentan el sistema de espesamiento, previo a su clasificación en harneros, en donde se separa el tamaño mayor a 0.8 mm, indeseable en el transporte por tubería hacia Las Tórtolas.

Se construyó además un nuevo espesador de pulpa de alta capacidad, y se transformó y mejoró el antiguo, se levantó una planta de floculantes y se instaló toda la tubería de alimentación y descarga de espesadores y de transferencia al sistema de transporte de pulpa hacia Las Tórtolas.

Entre otras instalaciones, el proyecto de ampliación contempló la construcción de un edificio de 3.920 m cuadrados de superficie y 20 m de altura para garaje de los camiones de 240 toneladas, talleres para equipos móviles, una bodega central, oficinas, taller de neumáticos, una maestranza, pasillos de invierno que conectan los edificios permitiendo el acceso del personal a sus áreas de trabajo sin tener que salir a la intemperie, y nuevas redes de alcantarillado. Además un nuevo estanque y todas las redes de agua, salas para los sistemas de lubricación de los molinos y de control de procesos, computación, unidades de generación de aire de alta y baja presión, sistemas de altavoces, calefacción, detección y alarma de incendios, iluminación de emergencia, recepción, almacenamiento y carguío de bolas.

#### **Transporte de la Pulpa Mineral**

Posteriormente el mineral tratado primariamente en Los Bronces es enviado al valle de Colina a través de una tubería de 56 kilómetros de largo que atraviesa esteros, montañas, depresiones y tres túneles especialmente construidos para la operación, constituyendo una obra de ingeniería pionera en el país.

Con la puesta en marcha de este proyecto se pudo resolver definitivamente el problema de la disposición de relaves en el área cordillerana, para lograr niveles de explotación más rentables en la mina.

El mineral tratado en la Planta de Molienda de Los Bronces, que se encuentra a una altura de 3.400 metros sobre el nivel del mar, se transporta a la Planta de Flotación en Las Tórtolas, ubicada a 759 metros de altura, en forma hidráulica, en tubería en presión y usando sólo energía gravitacional.

En Los Bronces se ubica un Sistema de Cabeza, que tiene por objeto recibir y acondicionar la pulpa proveniente de los espesadores de la Planta de Molienda, para alimentar en forma estable, segura y eficiente al mineroducto. El elemento estabilizador del sistema son dos estanques de hormigón provistos de agitadores de 200 HP y un volumen total de 4.100 m<sup>3</sup>, lo que proporciona un tiempo de residencia del orden de tres horas, y permite absorber las variaciones de operación de la Planta de Molienda.

Existe además, un sistema de alimentación de agua de dilución y lavado, que permite una efectiva regulación del caudal y densidad del mineral transportado.

La conducción se efectúa a través de un ducto de acero de 20 pulgadas de diámetro y 56 km de longitud, enterrado en una zanja a profundidad variable entre 1.3 y 4 m, con excepción de un tramo de aproximadamente 8 km, en que la tubería atraviesa túneles y puentes.

El transporte se inicia en un distribuidor presurizado ubicado en Los Bronces y en su recorrido, el ducto atraviesa los valles Dolores, San Francisco, Ortiga, Arrayán, Colina y Peldehue, sorteando accidentes geográficos mediante tres túneles con una longitud total de 8 km, y cinco puentes, con un largo total de 3.000 m.

La principal parte de este sistema lo constituye el Sistema de Disipación de Energía, cuyas funciones principales son las de asegurar el flujo en presión a lo largo de la tubería, mantener velocidades que aseguren el transporte de los sólidos sin riesgos de embanque, controlar la velocidad de la pulpa para evitar el desgaste excesivo de la línea, mantener las presiones máximas a lo largo del ducto en los rangos de seguridad definidos y controlar las presiones mínimas en las salidas de las Estaciones Disipadoras para evitar cavitación.

Para cumplir esas vitales funciones el Sistema cuenta con cuatro Estaciones Disipadoras distribuidas a lo largo del trazado, lo que le otorga una gran flexibilidad y seguridad operacional. Cada una está formada por una rama principal de 24" de diámetro con anillos disipadores fijos y variables; una rama de reserva de 20" de diámetro con sólo anillos fijos, que permite realizar la mantención de la rama principal sin interrumpir la producción; y una rama de emergencia de 8" de diámetro conectada mediante discos de ruptura a la entrada y salida de las Estaciones, que actúa como una válvula de seguridad del sistema frente a eventuales sobrepresiones.

Cada una de esas ramas cuenta con válvulas de corte que permiten su uso alternativo, y facilitan la mantención. La principal tiene además un sistema de válvulas y tuberías que permiten variar en forma simple la cantidad de anillos cerámicos que debe atravesar el flujo, lo que hace posible el control del caudal transportado y del régimen de presiones a lo largo de la línea. El sistema cuenta con 22 de esos anillos cerámicos "variables"

distribuidos en la cuatro Estaciones Disipadoras.

En esta obra se requirió mover dos millones de m<sup>3</sup> de tierra en excavaciones de plataformas, zanjas y caminos para instalar las tuberías. Se utilizó más de 7 mil m<sup>3</sup> de hormigón en obras civiles y machones de anclaje y se montaron 11 mil toneladas de tuberías de acero y 2 mil toneladas de estructuras, piezas especiales y equipos del mismo metal. Se construyeron 8 km de túneles y 5 puentes carreteros.

Con la puesta en marcha de este sistema se efectuó una importante contribución al desarrollo tecnológico nacional al construir el mayor sistema gravitacional del mundo, destinado al transporte de pulpa mineral, mediante tubería en presión.

### **Planta Las Tórtolas**

La pulpa mineral proveniente de Los Bronces se recibe en la nuevas instalaciones construidas en el área de Las Tórtolas, en el valle central a unos 30 kilómetros al norte de Santiago donde se levanta la Planta Concentradora, el Depósito de Relaves y se lleva a cabo un ambicioso programa de forestación.

La pulpa llega a la planta de concentración a un estanque agitador de 210 m<sup>3</sup>, en el cual se efectúa la dilución y la adición de los reactivos de acuerdo a los requerimientos de la etapa de concentración.

Con el objetivo de recibir la pulpa en situaciones de corte de energía en el área, se construyó en el lugar una piscina de emergencia que tiene capacidad de 14 mil m<sup>3</sup>, la cual cuenta con las instalaciones necesarias para repulpear el material acumulado y devolverlo al proceso de concentración.

El circuito de concentración cuenta con una etapa de flotación Rougher, con 18 celdas convencionales de 3 mil pies cúbicos cada una, distribuidas en dos líneas: una etapa de remolienda de concentrados Rougher con un molino de bolas de 12 1/2 pies de diámetro por 27 pies de largo y 2 mil HP; una etapa de flotación de limpieza de los concentrados con 2 celdas de columna de 16 m<sup>2</sup> cada una, y una etapa de flotación Scavenger de las colas de flotación, con 14 celdas convencionales de 1.500 pies cúbicos distribuidas en dos líneas. Las colas de flotación Rougher y de flotación Scavenger conforman el relave final de la planta, el cual se envía



gravitacionalmente al depósito través de cañerías en acueducto.

El concentrado final de cobre, generado en la etapa de flotación de limpieza, se envía gravitacionalmente a un espesador convencional de 90 pies de diámetro. El agua recuperada se retorna por bombeo al estanque de servicio de la planta.

Posteriormente la pulpa espesada de concentrado de cobre se transporta a dos filtros hiperbáricos de 48 metros cúbicos. El producto corresponde a un concentrado de 9.4 por ciento de humedad aproximadamente, el cual se envía a almacenamiento por un sistema de correas transportadoras, en un edificio con capacidad para albergar 5 mil toneladas de material, desde donde se despacha en camiones a la Fundición de Chagres o a exportación.

En el sector se levantó además una planta para preparación de reactivos y cal, un edificio de administración y otro de bodegas.

La construcción de la concentradora demoró 14 meses, y entró en operaciones el 7 de Mayo de 1992.

#### **Depósito de Relaves**

Contiguo a la concentradora en el cajón de Las Tórtolas, está emplazado el depósito de relaves, en una cuenca natural rodeada por un cordón de cerros. Se escogió el sector precisamente por sus características apropiadas para ese fin.

El depósito se construyó cerrando un pequeño valle de desagüe del cajón con un muro cuyo material base son las arenas o partículas gruesas del relave. En su inicio, se construyó un muro de partida con materiales de empréstito.

El diseño de la obra tomó en consideración la seguridad y el ambiente. Dentro de la presa quedan incorporados una serie de instrumentos geotécnicos, que apoyarán las construcciones que se van ejecutando todos los días en la obra. El depósito no tendrá aguas efluentes, y para controlar las aguas superficiales y subterráneas se perforó una serie de pozos profundos que las recuperarán, retornándolas a la zona de embalse. Esas aguas se retornan a la concentradora y a la zona de forestación.

Adicionalmente se estableció un completo sistema de monitoreo consistente en doce pozos alrededor del depósito de relaves para el análisis periódico de aguas subterráneas.

### **Programa de Forestación**

La mayor parte del agua, que proviene de la cordillera, es recirculada y utilizada nuevamente en el proceso que se desarrolla en Las Tórtolas. Pero debido a que el área de flotación está separada de la molienda, en la depositación de relaves se produce un excedente que no se utiliza. Esa agua sobrante se destina a un enorme proyecto ambiental, que consiste en la forestación de 730 hectáreas de ese sector tradicionalmente árido y semidesértico. De esa extensión, 590 hectáreas se están plantando con eucaliptos, especie con gran capacidad para consumir y evapotranspirar agua. El resto se forestará con especies nativas.

Los riegos de esa plantación se ejecutan durante ocho meses, en la época de mayor calor, para infiltrar el mínimo de agua y buscando el equilibrio con la evapotranspiración del bosque.

De acuerdo a la experiencia adquirida en una plantación experimental, se espera un crecimiento muy rápido del bosque, lo que significará un importante mejoramiento en el medio ambiente de la zona.

### **Abastecimiento de Agua**

El agua necesaria para los procesos industriales en Los Bronces, el transporte y lavado de tuberías y el consumo y red de incendios se logra de la cuenca de los esteros San Francisco y Ortiga.

El sistema de abastecimiento incluye como obra de regulación un embalse en Los Bronces con capacidad para 3.1 millones de m<sup>3</sup>, además de diversas bocatomas en el estero San Francisco y otros cursos de agua que son naturalmente interceptados por el embalse.

El agua captada se conduce al embalse y a los estanques para proceso, agua clara, potable y de incendio, contando para ello con siete estaciones elevadoras.

En el caso de Las Tórtolas, el agua fresca necesaria para el funcionamiento de la Planta Concentradora se obtiene de pozos, y se eleva hasta el estanque de cabeza

correspondiente por medio de un sistema de impulsión de 7 kilómetros de longitud, con capacidad para 25 litros por segundo.

El agua para los procesos, se logra por recirculación del agua decantada en el depósito de relaves, la que se capta mediante bombas instaladas en dos balsas gemelas atracadas a espigones que tienen una capacidad de bombeo de 470 litros por segundo. El líquido es impulsado a la sentina de la planta elevadora intermedia, ubicada fuera de la zona de inundación del tranque. Desde allí se envía al estanque de agua industrial de la planta, que alimenta tanto las necesidades de procesos como las de riego.

### **Otros Proyectos**

El Proyecto de Expansión Los Bronces contempla además instalaciones portuarias en San Antonio y sistema de abastecimiento eléctrico así como un completo sistema de comunicaciones y control.

Debe destacarse finalmente que la compañía Minera Disputada de Las Condes tiene faenas también en la mina El Soldado y su planta concentradora El Cobre, ubicadas en la comuna de Nogales a unos 160 km de Santiago así como en la Fundición Chagres en la comuna de Catemu a unos 180 km de Santiago.

En todas sus faenas ha llevado a cabo proyectos de expansión así como de construcción de nuevas instalaciones, optando por una utilización preponderante de ingeniería nacional como se observa en los cuadros adjuntos.

## **6. REFERENCIAS**

Las cifras mencionadas en el presente trabajo se basan en información proporcionada por Cía. Minera Disputada de Las Condes, información de los archivos de Geotécnica Consultores Ltda., datos mencionados en el Sumario de la Minería de Chile de 1991 del SERNAGEOMIN y en artículos publicados en 1992 en la revista Minería Chilena y el informativo Ingeniero Andino y en la publicación especial Minería del diario El Mercurio de Santiago.

CUADRO 4

PRINCIPALES PROYECTOS CIA. MINERA DISPUTADA

PROYECTO	FECHA DE APROBACION	US\$ M	PUESTA EN MARCHA
EXPANSION EL SOLDADO 11.500 TPD	1985	73	JUNIO/87
EXPANSION LOS BRONCES	1989	440	MAYO/92
EXPANSION FUNDICION CHAGRES	1992	180	MED/94
DEPOSITO DE RELAVES EL TORITO	1991	20	4° TRIM/92
PLANTA DE OXIDOS EL SOLDADO	1990	15	ENERO/93
REMOCION DEPOSITOS DE RELAVES LOS BRONCES	1992	74	FIN/94
PLANTA DE MOLIBDENO LAS TORTOLAS	1992	11	1er TRIM/94

CUADRO 5

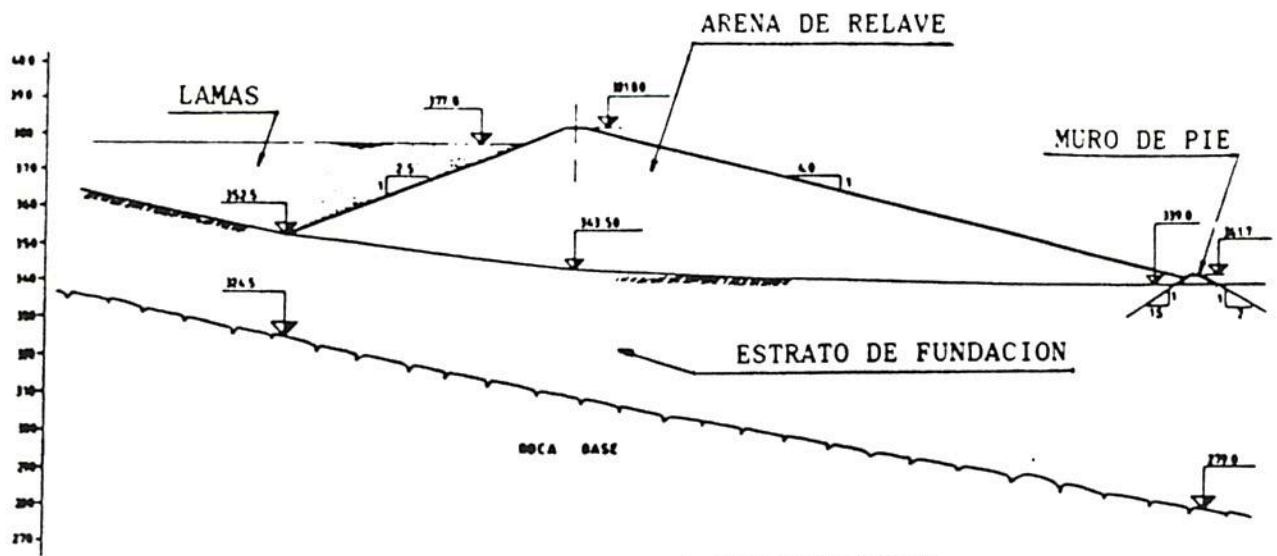
PARTICIPACION INGENIERIA NACIONAL EN PROYECTOS DISPUTADA

PROYECTO	INVERSION (US\$ M)			INGENIERIA H/H		
	TOTAL	LOCAL	IMPORTACIONES	TOTAL	NACIONAL	EXTRANJERA
EXPANSION EL SOLDADO 11.500 TPD	73	55	18	208.000	208.000	
<b>EXPANSION LOS BRONCES</b>	<b>440</b>	<b>314</b>	<b>126</b>	<b>1.020.000</b>	<b>1.016.000</b>	<b>4.000</b>
EXPANSION FUNDICION CHAGRES	180	149	31	617.000	550.000	67.000
DEPOSITO DE RELAVES EL TORITO	20	18	2	68.000	68.000	
PLANTA DE OXIDOS EL SOLDADO	15	12	3	66.300	66.000	300
REMOCION DEPOSITOS DE RELAVES LOS BRONCES	74	57	17	121.800	120.000	1.800
PLANTA DE MOLIBDENO LAS TORTOLAS	11	9	2	51.200	50.000	1.200

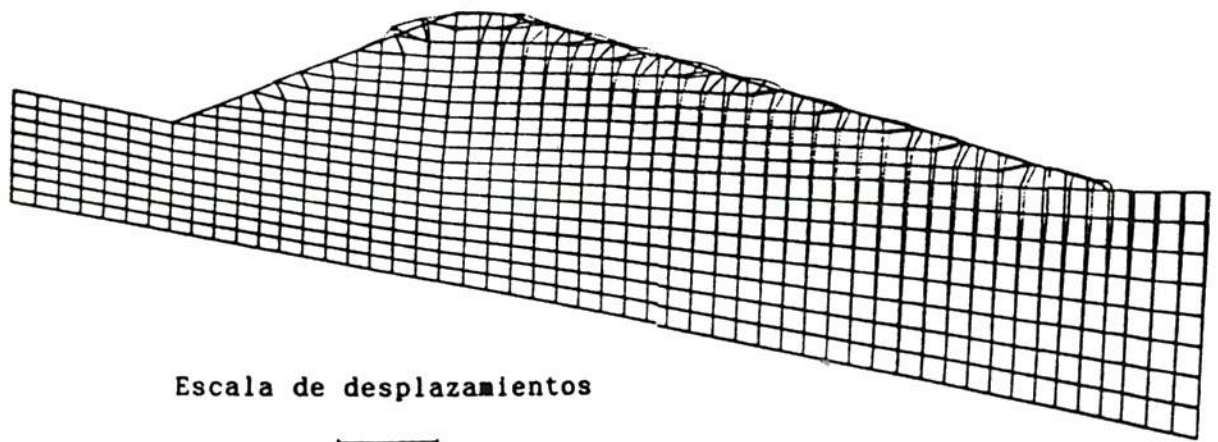
CUADRO 6

PROYECTO DE EXPANSION LOS BRONCES  
CONTRATISTAS DE INGENIERIA Y CONSTRUCCION

MINMETAL INGENIERIA  
B & R INGENIERIA, JUAN RAYO ING.  
GEOTECNICA CONSULTORES LTDA.  
ARCE Y RECINE INGENIEROS  
VIAL & VIVES, MENDEZ JUNIOR  
SIGDO KOPPERS S.A.  
TECHINT  
INGENIERIA CIVIL VICENTE  
TEYMA  
GORDO-SABREC  
MORA Y CORTES  
SPIE BATIGNOLLES CHILE  
SOCOPEL  
CESMEC LTDA.  
INDEPRO INGENIERIA  
SOC. INSPECCIONES RVT  
INGENIERIA DE TRANSPORTES JAVIER CORTES



SECCION TRANSVERSAL REPRESENTATIVA



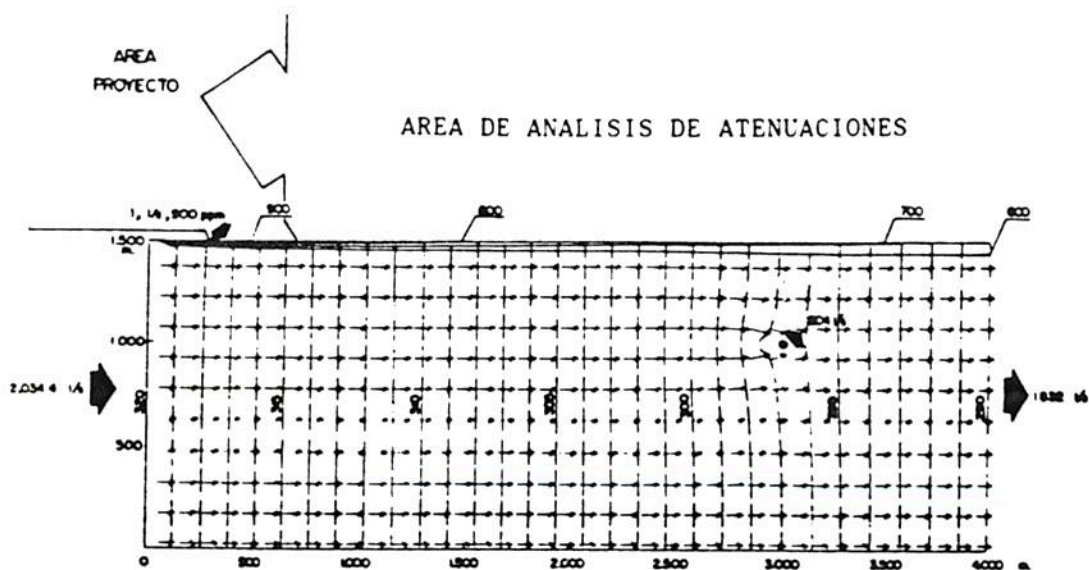
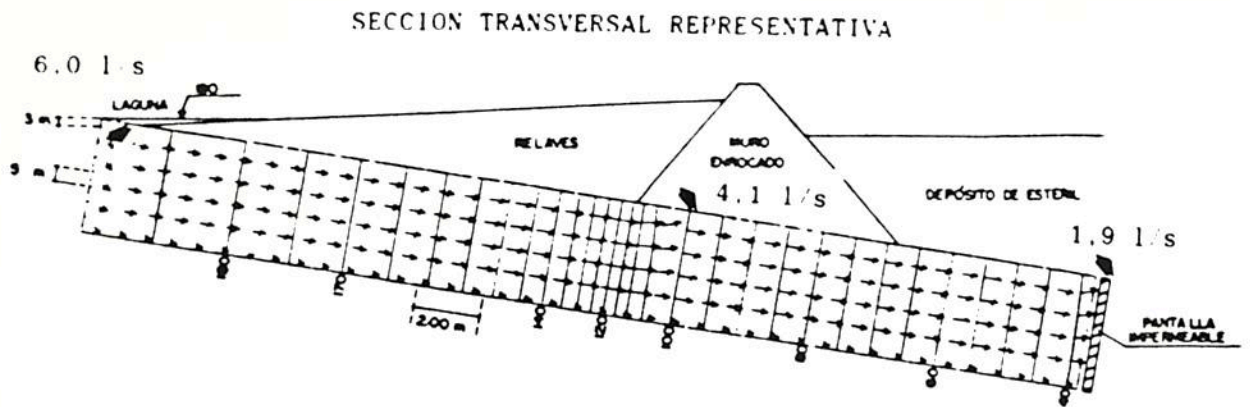
Escala de desplazamientos

20 m.

MODELACION

Figura 1 : Ejemplo de aplicación del método de diferencias finitas para el análisis de los desplazamientos que sufre una presa de arena de relaves sometida a un sismo de diseño.

En la figura superior se presenta una sección transversal representativa de la presa, mientras que en la figura inferior se muestra la modelación realizada y los desplazamientos medidos en los nodos de la malla.



SIMBOLOGIA	
—	IVEL PIEZOMETRICO (m.e.l.)
- - -	CONCENTRACION DE ION NITRATO (ppm)
→	LINEA DE FLUJO

Figura 2 : Ejemplo de análisis de filtraciones y de atenuación de solutos para las aguas infiltradas bajo una presa de material de empréstito, la cual contendrá relieves de una faena minera.

En la figura superior se presenta una sección transversal de la presa, bajo la cual se ha trazado las líneas de flujo y se ha determinado las magnitudes de las infiltraciones esperables. Cabe destacar como ya en este nivel de los análisis es posible modelar la presencia de una barrera impermeable para la protección de los acuíferos o cursos superficiales ubicados aguas abajo de la estructura.

En la figura inferior se muestra la disposición en planta de un área seleccionada para analizar la atenuación de los iones