

INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA

# INGENIERIA

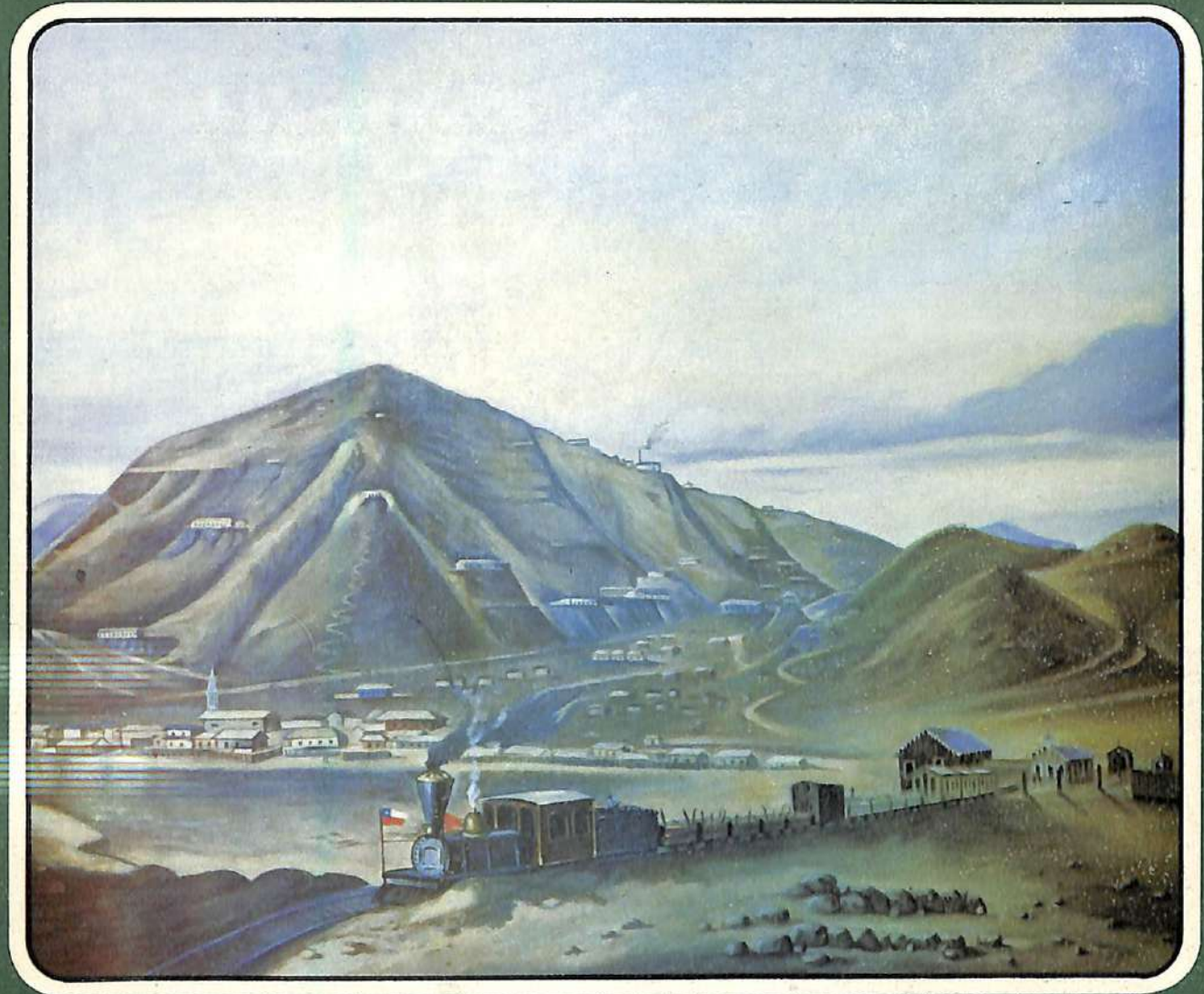
## UNIVERSIDAD DE ATACAMA



AÑO I

OCTUBRE 1985

Nº 1



DESDE 1857 EN LA ENSEÑANZA MINERA EN CHILE

# REVISTA INFORMATIVA

COPIAPO - CHILE

INGENIERIA UNIVERSIDAD DE ATACAMA  
REVISTA DE INFORMACION DE LA FACULTAD DE INGENIERIA  
CASILLA 240 - COPIAPO

AÑO I

ABRIL 1986

Nº 1

**DIRECTOR:**

**Mario Meza M.** Decano

**DIRECTOR REEMPLAZANTE:**

**Juan Garrido Z.**

**COMITE EDITORIAL:**

<b>Mario Meza M.</b>	Decano
<b>Germán Cáceres A.</b>	Director Instituto de Investigación Científica Y Tecnológicas
<b>Juan Garrido Z.</b>	Secretario Académico Facultad de Ingeniería
<b>René Bustamante M.</b>	Coordinador de Investigación de Facultad de Ingeniería
<b>Enrique Santibáñez C.</b>	Director Departamento de Minas
<b>Oscar Rivera P.</b>	Director Departamento de Metalurgia
<b>Andrés Luz V.</b>	Director Departamento de Ciencias Básicas
<b>Timur Padilla B.</b>	Director Escuela de Tecnologías

**PERIODISTA:**  
**Abel Manríquez M.**

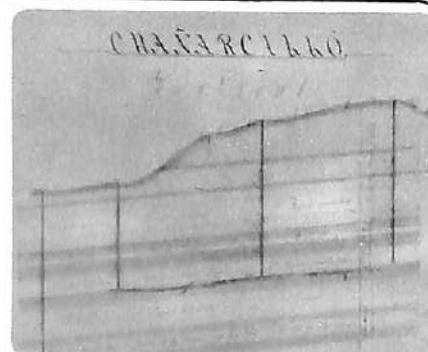
**SECRETARIAS:**  
**Nuri Díaz I.**  
**Rosa da Silva**  
**Laura Toledo**  
**Teresa Arredondo**  
**Elisabeth Astudillo**

**DISEÑO Y ARTE:**  
**Rolando Vega B.**  
**Hugo Olmos N.**  
**José Palacios G.**  
**Eduardo Díaz V.**  
**Nelson Sills A.**

**FOTOGRAFIAS:**  
**Jorge Stockle P.**



**PORTADA:**  
*Pintura Anónima  
Mineral de Chañarillo  
en el siglo pasado.*



**CONTRAPORTADA:**  
*Plano en corte  
del Mineral de  
Chanarcillo.*

**PORTADA.**

**Donde dice:** AÑO 1 OCTUBRE 1985 N° 1

**Debe decir :** AÑO 1 ABRIL 1986 N° 1

**Página 45.**

**Donde dice:** Sr. Jorge Arevalos Q.

**Debe decir:** Sr. Jorge Avalos Q.

**Página 69.**

**Donde dice:** Julia Licao T.

**Debe decir:** Julia Li Kao T.

**CONTRAPORTADA INTERIOR.**

**Donde dice:** HIMNO ESCUELA DE  
MINAS COPIAPO

**Agregar:** Letra, profesor Armando Coloma R.  
Música, profesor Juan Amigo M.

**Donde dice:** HIMNO A LA UNIVERSIDAD  
DE ATACAMA

**Agregar:** Letra y Música, profesor Carlos  
Sepulveda G.

## EDITORIAL

*La Facultad de Ingeniería de la Universidad de Atacama heredera directa de la prestigiosa "Escuela de Minas de Copiapó" fundada en 1857, está consciente de su importante misión en el campo de la minería, tanto dentro de la universidad como en la comunidad Regional y Nacional.*

*Ha sido motivo de permanente preocupación de los Académicos de la Facultad de Ingeniería, acortar la distancia existente entre esta casa de Estudios Superiores y el sector productivo.*

*Nuestros esfuerzos en tal sentido los hemos centrado hasta ahora en tres frentes principales: a través de los trabajos de titulación de nuestros alumnos, inspirados en problemas industriales regionales, por medio de cursos de perfeccionamiento dictados a profesionales de las empresas y por medio de asistencia técnica prestada a la producción.*

*Deseamos hoy tender un nuevo puente de enlace que haga más permanente nuestras relaciones con toda la comunidad Minero-Metalúrgica, mediante la creación de nuestra revista denominada "INGENIERIA UNIVERSIDAD DE ATACAMA".*

*Nuestra Revista intenta en nuestra primera edición reflejar las actividades tanto en docencia, investigación y extensión de la Facultad de Ingeniería, así como dar a conocer algunas tecnologías nacionales de importancia industrial.*

*Esperamos que de este primer número nazcan ideas renovadoras que inspiren el desarrollo del sector productivo y universitario, ideas que serán sin lugar a dudas bien recibidas en las páginas de "INGENIERIA UNIVERSIDAD DE ATACAMA".*

# Ilustre Municipalidad de Vallenar



# RECSA

## **REFRACTARIOS CHILENOS S.A.**

Carretera Panamericana Norte 3076

Renca - Santiago

Central Telefónica 771305

Casilla 1335 - Télex 340376 RECSA CK

Santiago - Chile

## **DIVISION CERAMICA CORDILLERA**

Camino Circunvalación

Américo Vespucio 1001 - Quilicura

Teléfonos: 719908 - 719912 - 719921

Casilla 1335 - Télex 340376 RECSA CK

Santiago - Chile

# LA UNIVERSIDAD DE ATACAMA HA ALCANZADO TOTAL MADUREZ EN SOLO CUATRO AÑOS DE VIDA



*Sr. Rector Dr. Vicente Rodríguez Bull*

La Universidad de Atacama tiene cuatro años y medio de existencia. El 25 de octubre de 1981, S.E. el Presidente de la República, Capitán General Augusto Pinochet Ugarte, dispuso su creación, considerando la petición de la ciudadanía atacameña y la brillante trayectoria en la educación minera de Chile de la Escuela de Minas de Copiapó. Esta decisión, conllevó en sí el apoyo al desarrollo y bienestar común de la III Región.

La Universidad de Atacama, desde su creación, a pesar de la falta de medios económicos, ha crecido y realizado su gestión académica satisfactoriamente.

Se han contratado académicos con estudios de postgrado, contando en la actualidad con algunos doctores ingenieros y un apreciable número de Magister en ciencias de la Ingeniería, arte y educación. Otros dos académicos se perfeccionan en programas de Doctorado y varios están terminando sus Tesis de Magister, mientras que otros profesores se han capacitado para la investigación, uno en Japón y el resto en Universidades del país.

También se ha establecido la jerarquía académica, poniendo en ejercicio la Carrera Académica y la Comisión y de Promociones y Evaluación de Académicos, constituida por profesores titulares y asociados. Así, la eficiencia académica de cada docente se considera sistemáticamente como el fundamento de su desarrollo profesional universitario.

A la dictación de nueve carreras de pre-grado en las Facultades de Humanidades y Educación y de Ingeniería, se ha agregado el funcionamiento de varios programas de postgrado conducentes al título de Magister en Educación mención Psicología Educativa, Derecho de Minería y Psicología Industrial y Organizacional, este último señalado como único en América Latina y que tiende a la formación de líderes para la industria. Estos programas de postgrado han contado con el apoyo de académicos de las Universidades Norteamericanas de Columbia, Fordham y Trenton.

Para el Magisterio Regional, en colaboración con la OEA y la Universidad de Concepción, se dictan postítulos en Administración y Orientación Educativa.

## INVESTIGACION Y EXTENSION

En el campo de la Investigación Científica y Tecnológica, se ha obtenido financiamiento para importantes proyectos minerometalúrgicos, de parte del Fondo de Desarrollo Científico y Tecnológico de CONICYT y del proyecto OEA sobre investigación y desarrollo de materiales. Estas investigaciones, presentadas por académicos de la Facultad de Ingeniería, concursaron conjuntamente con numerosos proyectos de otras universidades, hecho que avala la calidad de nuestros profesores. Se debe agregar a ello, el patrocinio de 20 proyectos de investigación en las áreas de



Ingeniería y de Humanidades y Educación, por parte de la Comisión Universitaria de Investigaciones de la Corporación.

En la extensión universitaria se ha definido la filosofía y las políticas universitarias, estableciendo los procedimientos necesarios para la programación adecuada de las actividades e iniciar el funcionamiento de los organismos académicos pluripersonales de coordinación y asesoría en esta área del quehacer UDA. La Dirección de Extensión, Comunicaciones y Relaciones Universitarias, creada en 1983, ha desarrollado sus estructuras e implementado casi totalmente sus principales funciones.

### TOTAL MADUREZ

Paralelamente a la consolidación académica, y desde sus inicios, la universidad se ha preocupado de desarrollar su base jurídica y las instancias de participación de la comunidad universitaria. Su estructura jurídica está en completa y plena vigencia, a través de cu-

yos mecanismos están dadas las instancias de participación plena de los académicos en la conducción de la universidad, facilitando el desarrollo armónico, coherente, democrático y expedito de la Corporación.

Todos estos progresos reseñados, unidos a diversos avances en laboratorios e infraestructura, hacen que nuestra Universidad de Atacama haya alcanzado total madurez institucional y académica en su corta vida. La Universidad de Atacama es aún una Institución muy joven y necesita vitalizar su acción, afianzar sus estructuras académicas, sus laboratorios y debemos ayudarla a crecer y consolidarla para que ocupe cada vez un sitio más destacado en el concierto de la Educación Superior Chilena. Sólo así cumplirá óptimamente su rol de fuente del saber universal capacitado para apoyar el desarrollo de la región a través de la cultura, la ciencia, la tecnología, la formación de profesionales y la investigación, estimulando la creatividad humana en beneficio del bienestar social del país y del medio donde se encuentra inserta.

# Química y Metalurgia en Nueva España y las Colonias Españolas en América del Sur.



*Dr. Fathi Habashi, Depto. Minas y Metalurgia  
Universidad de L'AVAIL, Quebec, Canadá.*

## INTRODUCCION

Los conquistadores Ingleses, Franceses y Holandeses a su llegada al Nuevo Mundo encontraron culturas dedicadas a la caza con una agricultura muy primitiva, o sin ella, y sin conocimiento en la elaboración de metales. Por otro lado, las expediciones españolas en México y Perú encontraron una avanzada civilización indígena con gran habilidad en el trabajo de metales como, cobre, oro y plata. Así, las expediciones Españolas pudieron retornar inmediatamente a España acumulando un surtido de metales preciosos, comenzando la explotación de las minas desde las cuales esos metales eran obtenidos utilizando trabajadores nativos. La principal fuente de esos metales fueron depósitos tipo placeres y no se conocían las fundiciones. El fierro tampoco se conocía.

El gran volumen de plata producida fue hecho por medio de amalgamación o "proceso patio". El Mercurio era embarcado en grandes cantidades hacia Las Américas desde las minas de Almaden en España. Esto contribuyó al auge minero en España hasta que se descubrieron depósitos de mercurio en Perú. Aunque el proceso de amalgamación fue conocido por los romanos para el tratamiento de minerales de oro, su aplicación a la recuperación de plata se ha considerado como una importante contribución de los mineros españoles en Las Américas. El descubrimiento de depósitos de mercurio locales bajó en gran medida el costo de producción de la plata y como resultado el volumen de producción de este metal precioso aumentó. Alrededor del año 1600, el flujo de oro y plata hacia Europa incrementó sustancialmente y esto contribuyó al comienzo del renacimiento.

En el siglo XVIII, las colonias españolas fueron

divididas en cuatro divisiones administrativas llamadas Virreinos. Estos fueron Nueva España, Perú, Nueva Granada y Río de La Plata (Tabla 1). Lo que actualmente es Bolivia fue previamente llamado Real Audiencia de Charcas, y algunas veces Alto Perú y estuvo sujeto al Virrey del Perú hasta que el Virreinato del Río de la Plata fue establecido en el año 1776.

Después de la conquista española, los nativos fueron obligados con despiadada severidad a trabajar manteniendo o aumentando la extracción de metales preciosos para el beneficio de sus amos. Un gran número de indígenas pereció en las minas. Por otra parte, la tributación fue opresiva, el comercio fue estrictamente limitado a España y se le prohibió a los colonos la cosecha de cualquier cosa o la manufactura de cualquier artículo que pudiera interferir con la Madre Patria. A fines del siglo XVIII, los resentimientos de los indígenas fue manifestado en varias insurrecciones; y finalmente la guerra por la independencia fue ganada.

Durante el período colonial, distinguidos químicos y metalurgistas fueron enviados por el Rey de España a las nuevas colonias para desarrollar la industria del metal y establecer escuelas para la graduación de ingenieros en minas y metalurgia. Dos metales fueron descubiertos en esas colonias: Platino en Colombia por Antonio de Ulloa en 1748 y Vanadio en México por Manuel del Río en 1801.

La primera escuela de minas en el Nuevo Mundo fue establecida en Potosí, Bolivia en 1757, seguida por otra en la ciudad de México en 1792. Ciudad de México llegó a ser un importante centro de traducciones de importantes textos de química y mineralogía al español. Por ejemplo, Elementos de Química

<b>TABLA 1</b>  Colonias españolas en el nuevo mundo al final del período Colonial	FUNDACION	VIRREINATO	CAPITAL	ESTADOS ACTUALES
	1535	Nueva España	México	México, América Central, Islas del Caribe.
	1542	Perú (Nueva Castilla)	Lima	Perú, Chile.
	1739	Nueva Granada	Bogotá	Colombia, Venezuela, Ecuador.
	1776	Río de la Plata	Buenos Aires	Bolivia, Argentina, Paraguay, Uruguay.

(Lavoisier), Texto de Química (Chaptal) y Nuevo Sistema Mineral (Berzelius) fueron traducidos al español y publicados en México.

## NUEVA ESPAÑA

Con la caída de la capital de los Aztecas en 1521, comenzó un período de importante actividad minera a través de México. Desde su llegada cerca de la actual ciudad de Vera Cruz en 1519, Hernán Cortés y sus seguidores fueron inspirados por un sueño de gran riqueza con el oro almacenado en el tesoro del Emperador Azteca. Este sueño no fue realizado, pero salieron expediciones en todas las direcciones desde la capital en busca de tesoros ocultos descubriendo ricos depósitos de plata en Taxco en 1522, en Zacatecas en 1548, Guanajuato en 1550 y en otros distritos. Al principio el mercurio requerido para la recuperación de plata mediante el proceso de amalgamación era embarcado desde España; pero el descubrimiento posterior de depósitos de mercurio en Perú simplificó el proceso de extracción.

## PROCESOS METALURGICOS

La amalgamación, que es la recuperación de metales preciosos, mediante la formación de amalgamas

con mercurio, fue el proceso metalúrgico más importante de esa época. Aunque los Romanos \* estaban familiarizados con el hecho que el mercurio disuelve oro y plata, no parece que ellos usaran este conocimiento para la extracción de plata de sus minerales. Vanoccio Biringuccio, sin embargo, mencionó la amalgamación de plata en su libro, De la Pirotechnia, publicado en 1540. Fue Bartholomeo de Medina quien aplicó este proceso en Pachuca a gran escala en 1566. Los minerales tratados contenían, plata metálica, sulfuro, cloruro y otros compuestos de plata.

En ese tiempo, México estaba desprovisto de transporte de agua a través de canales por lo que no se disponía de esta fuente energética para chancar y moler

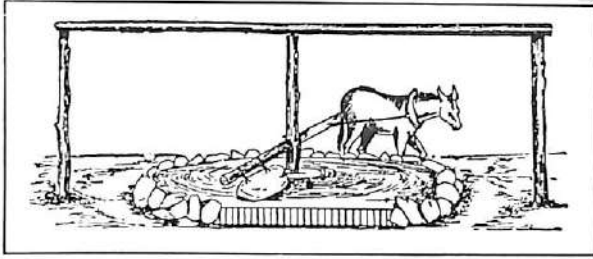
\* En su viaje de Acapulco a Vera Cruz, el famoso científico Alemán Barón Alexander von Humboldt, en 1803 se detuvo en Ciudad de México para visitar a su amigo y compañero de clases de la "Freiberg Bergakademie". Allí, en la Escuela de Minas, él fue recibido también por Elhuyar. Él quedó muy impresionado por la actividad de la escuela y escribió favorablemente acerca de ésta. Elhuyar ordenaba a menudo instrumentos para la Escuela desde Alemania a través de Humboldt, quien estaba interesado en Nueva España: en 1836, él publicó con la ayuda de Elhuyar, su "Ensayo Político sobre Nueva España", que es una fuente de información muy rica sobre la historia de la Química en América Latina.



Máscara de oro azteca.







Detalle de una rastra.

el mineral. Esta operación fue, sin embargo, efectuada, por aplastado y molienda en molinos a fuerza de caballos o mulas, y denominado "arrastra". Este está formado de un hoyo poco profundo de fondo plano, de 3 a 6 metros de diámetro, pavimentado con piedras duras de 30 centímetros de espesor, tales como, granito, basalto o cuarzo compactado.

En el centro tenía un eje vertical giratorio, que movía dos o cuatro brazos horizontales, los cuales tenían una piedra pesada fijada por correas de cuero de buey o por cadenas. El peso de estas piedras molidoras era de 200 a 400 kgs. cada una, su extremo delantero estaba aproximadamente a 5 cm. del suelo y el otro extremo se arrastraba. Las piedras eran movidas por mulas que caminaban por fuera alrededor de la "arrastra" a una velocidad que variaba desde 4 a 18 vueltas por minutos.

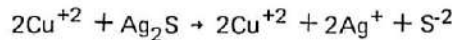
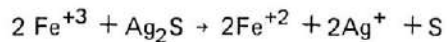
Una "arrastra" de 3 metros de diámetro tenía una carga de aproximadamente 225 kg. de mineral y trataba alrededor de 1 ton. en 24 horas. El desgaste por efecto de la molienda era de alrededor del 10% del mineral chancado. A las mulas, generalmente se le cubrían los ojos y se amarraban de a 4 en fila, una mula por cada tres toneladas.

El mineral quebrantado en forma de barro es luego transferido al lugar de amalgamación, llamado "patio", seguido de un secado cuando era necesario, luego amontonado en "tortas" o pilas planas circulares de aproximadamente 30 a 50 cm. de espesor, conteniendo cerca de 100 ton. de mineral (peso seco). En

el primer día, alrededor de 5-6% de sal común es esparcida sobre la superficie e incorporada al barro por la acción de 6 a 12 mulas sobre cada parte de la pila. Al segundo día, cerca de 3 a 4 Kg. de "magistral", que es una mezcla impura de cobre y sulfato ferroso, era adicionado y bien homogenizado por medio de mulas como en el caso anterior. Inmediatamente después, 6 a 8 kg. de mercurio por cada kg. de plata en el mineral era adicionado, estrujado a través de una bolsa de lona y barriendo estos pequeños glóbulos sobre toda la torta. El barro es nuevamente revuelto para incorporar el mercurio. Diariamente se toman muestras de cada parte de la pila y analizada usando una "challa"; la apariencia de la amalgama indica el grado al cual la amalgamación ha tenido lugar y si el "magistral" ha sido deficiente o en exceso. Luego las correcciones pueden ser hechas si es necesario.

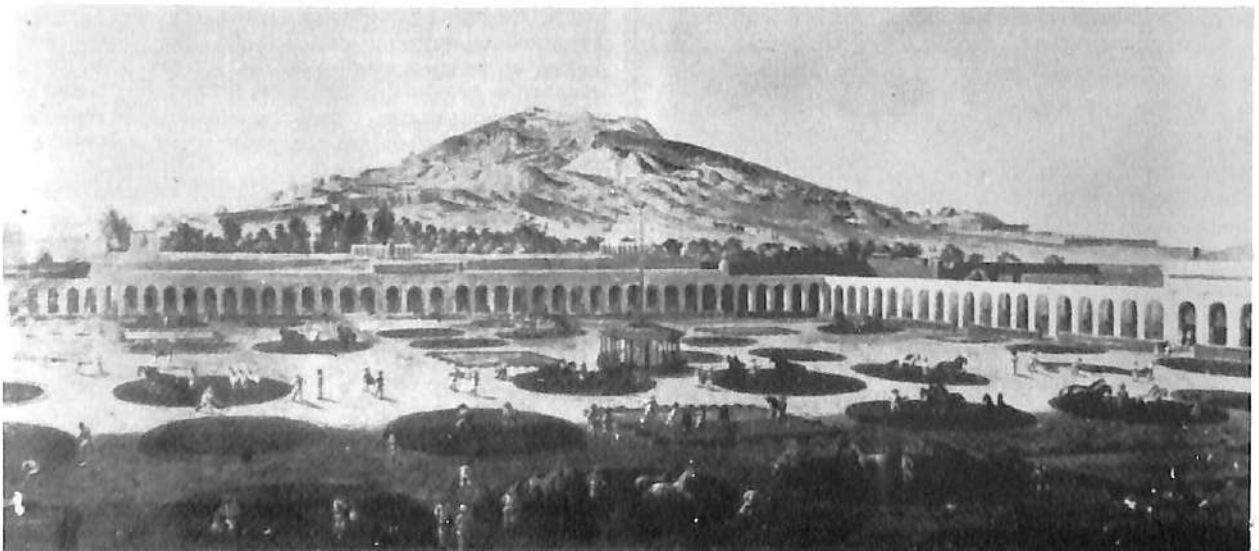
La pila, es mezclada por medio de las mulas cada día hasta que la amalgamación se ha completado, lo cual podría requerir entre 2 y 4 semanas. En el último día, una cantidad fresca de mercurio equivalente a 4 veces el peso de la plata presente, es adicionada para dar a la amalgama seca fluidez y ayudar a su colección. El material es luego lavado en tubos con agua para eliminar las partículas finas de mineral, dejando atrás la amalgama. La amalgama usualmente contiene 20% de plata. Después de estrujar la amalgama, apretando una lona, las pequeñas bolas son cargadas en una retorta de fierro para destilar el mercurio. La plata obtenida, llamada "Patio Pina", es luego fundida y colada en barras en la forma usual.

Las reacciones químicas que toman lugar en este proceso, son probablemente las siguientes:

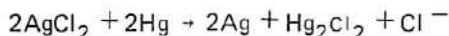


La plata iónica será acomplejada por el cloruro de sodio, pero la solución será descompuesta por el mer-

Patio para amalgamación en Zacatecas (Oleo de Pedro Gualdi Museo Nacional de Historia en Ciudad de México)



curio para formar plata metálica y cloruro mercurioso:



La plata es luego disuelta en el mercurio, formando la amalgama. Todo el mercurio que es así convertido a cloruro mercurioso es perdido, y esta cantidad es aproximadamente el doble del peso de la plata. Algo de sulfuro de plata podría también ser reducido directamente a plata metálica por el mercurio:



La recuperación de plata para este proceso fue alrededor del 75%, pero posteriormente disminuyó a 60%, cuando los minerales contenían cantidades apreciables de metales sulfurados, particularmente, de zinc, arsénico y antimonio.

Cuando los minerales contenían mucho oro, algo de mercurio se adicionaba, para recuperar el oro en primer lugar y luego la plata se obtenía por el "Proceso Patio". Este fue aplicado en forma satisfactoria a los minerales de plata auríferos de Zacatecas. Este proceso estuvo en operación, hasta los años 1920, cuando el molino de tubo y el proceso de cianuración fueron introducidos.

### METALURGISTAS DESTACADOS

Para desarrollar los recursos minerales de las colonias dos notables metalurgistas fueron enviados por el Rey de España. Estos fueron Don Fausto de Elhuyar y don Andrés Manuel del Río.



*Dn. Fausto de Elhuyar.*

Don Fausto de Elhuyar y su hermano mayor, Don Juan José, fueron en 1778 a la Academia de Minas de Freiberg, Alemania, a estudiar Química y Mineralogía. Ellos terminaron sus estudios en diciembre de 1781. Mientras Don Fausto fue a Vergara en España a hacerse cargo de la enseñanza en el Seminario (Don Juan José se unió posteriormente a su hermano en el Seminario), Don Juan José fue a Upsala a trabajar por medio año en el famoso laboratorio de Torbern Bergman.

En 1783, los hermanos trabajaron en el análisis de Wolframita de una mina de estaño en Zinnwald, Alemania, obteniendo un polvo amarillo insoluble que ellos llamaron ácido wolfrámico. Ellos mostraron posteriormente que era idéntico al ácido tungstico, el que el Químico Sueco Carl Wilhelm Scheele separó desde el mineral conocido en ese tiempo como tungsteno, que en sueco significa "piedra pesada"; este mineral es conocido hoy en día como Scheelita. La factibilidad de obtención de un nuevo metal por reducción del ácido tungstico ya había sido propuesto por Bergman y Scheele. Los hermanos Elhuyar calentaron una mezcla de ácido tungstico y carbón y carbón vegetal en un crisol sellado. Después de enfriar, ellos encontraron un botón metálico de color café oscuro, cuando ellos examinaron el polvo con microscopio, observaron los glóbulos metálicos de Tungsteno.

En 1786, Don Fausto fue enviado a Schemnitz Freiberg y Viena a estudiar el nuevo método de amalgamación desarrollado por Ignaz von Born. En ese lugar el contrajo matrimonio con una joven alemana. En 1788, fue enviado a Nueva España para ser Director General de Minas. En México, Elhuyar publicó el libro "Fabricación de Monedas en Nueva España". El



*Dn. Andrés Manuel del Río.*

fue luego comisionado para establecer la Escuela de Minas que fue planeada en 1774 por el conocido científico mexicano Don Joaquín de Velázquez Cárdenas y León quien murió en 1786 antes de que su plan fuera realizado. Don Fausto fue su primer Director cuando ésta fue abierta en 1792 y permaneció allí por más de 30 años hasta que estalló la guerra de la Independencia en 1811, él regresó a España en 1812. Allí fue nombrado Director General de Minas y planificó la Escuela de Minas de Madrid. El escribió en 1818 un tratado sobre "La influencia de la Minería en Nueva España". Don Fausto murió en Madrid en 1833 a la edad de 77 años.

El otro conocido metalurgista fue Andrés Manuel del Río, quien estudió en Shemnitz y Freiberg. En 1775, fue enviado desde España a enseñar mineralogía a la Escuela de Minas de México. En México, el tradujo un libro de Werner sobre la "Teoría de formación de Vetas" desde el alemán al español. En 1975, publicó el primer volumen de su texto sobre Mineralogía, que tituló "Elements of Oryctognosy", y en 1805 publicó el segundo volumen; una segunda edición de este trabajo apareció en 1832. El también tradujo al Español las "Tablas Mineralógicas" de Karsten en 1804 y "Nuevo sistema mineral" de Berzelius en 1827.

En 1801, el examinó una especie de un mineral de plomo color café de la Mina Zimapán Cardonal en Hidalgo, México, y concluyó que éste contenía un metal similar al cromo y al uranio que él llamó "erythronium" debido a la coloración roja que esta sal adquiría cuando era calentada. Como las propiedades del

erythronium eran muy parecidas a las que Fourcroy había descrito del cromo recientemente descubierto, del Río decidió que se había equivocado y que la especie que él examinó era realmente un cromato básico de plomo. En su "Texto de Mineralogía" publicado en 1832, sin embargo, él estableció que el metal contenido en el mineral de plomo color café de Zimapán no era cromo, sino que vanadio, el mismo metal descubierto un año antes (1831) por el Químico Sueco Nils Gabriel Sefstrom. Wöhler en 1831 probó que el mineral analizado por del Río en realidad contenía vanadio y no cromo. Una muestra de este mineral fue entregada a él por Alexander von Humboldt\*, quien la consiguió de del Río cuando lo visitó en 1803. Este mineral es conocido actualmente como vanadinita,  $PbCl_2 \cdot 3Pb_3(VO_4)_2$ .

En 1809, del Río estableció en Coalcomán, Michoacán la primera industria de hierro en México, la que, sin embargo, fue destruida durante la insurrección de 1911. Contrajo matrimonio con una joven mexicana y adoptó a México como su hogar. Murió en 1849 a la edad de 85 años.

## ESCUELA DE MINAS

La Escuela de Minas en ciudad de México, fundada en 1792, fue la primera institución científica erigida en México. En 1811, ésta fue trasladada a la calle Tacuba, próxima al edificio de la actual oficina principal de Correos, entre el Parque Alameda y Zocalo, en un clásico edificio actualmente llamado el "Palacio de los Minerales". La calle Tacuba fue la más importante y una de las más antiguas calles en ciudad de México. En 1882, el gobierno de México bajo la presidencia de Porfirio Díaz celebró el centenario de la fundación de la Escuela.

## NUEVA CASTILLA Y RIO DE LA PLATA

Francisco Pizarro conquistó Perú en 1533 y fundó la ciudad de Lima. Posteriormente envió expediciones a conquistar Chile y Bajo Perú, actualmente Bolivia, y el Reino de Indias de Quito (Ecuador). Esta región llegó a ser conocida como el Virreinato del Perú (algunas veces conocida como Nueva Castilla), con capital en Lima; en el siglo XVIII, el territorio de Quito fue asignado al gobierno de Nueva Granada.

Los españoles fundaron Buenos Aires en 1535, pero los incesantes ataques de los indios los hicieron rápidamente abandonarlo. Posteriormente, en 1537, construyeron un fuerte llamado Asunción en la Unión de los ríos Paraguay y Pilcomayo. Esto probó ser el primer asentamiento español permanente en el interior de Sud-América. Asunción, Buenos Aires (poste-

\* Descrito por Pliny en su Historia Natural (23-79 D.C.).



Escuela de Minas en Ciudad de México

(Litografía de Pedro Gualdi)

riormente refundada en 1580) y las otras colonias que gradualmente crecieron en la región de la Plata fueron sujetas al Virreinato del Perú hasta 1776. El gobierno español en ese año estableció en Buenos Aires el Virreinato de la Plata, con jurisdicción sobre los actuales territorios de Argentina, Paraguay y Bolivia.

### EL DESCUBRIMIENTO DE PLATA Y MERCURIO

En 1544, los conquistadores españoles de Perú en su incansable búsqueda de "El Dorado", descubrieron el "Cerro Rico", una montaña cónica con una altura de 15.680 pies sobre el nivel del mar; la altitud de su base, donde fue fundada la ciudad de Potosí en 1547, es de 13.780 pies. El centro de la montaña está constituido por uno de los más ricos cuerpos minerales conocido en cualquier lugar del mundo —un mineral que no sólo contenía plata, sino que también, estaño, bismuto y tungsteno. Sin embargo, en 1544, los españoles buscaron sólo la plata, ya que el estaño era más barato enviarlo a Europa desde otros lugares y el bismuto y el tungsteno no tenían ningún uso.

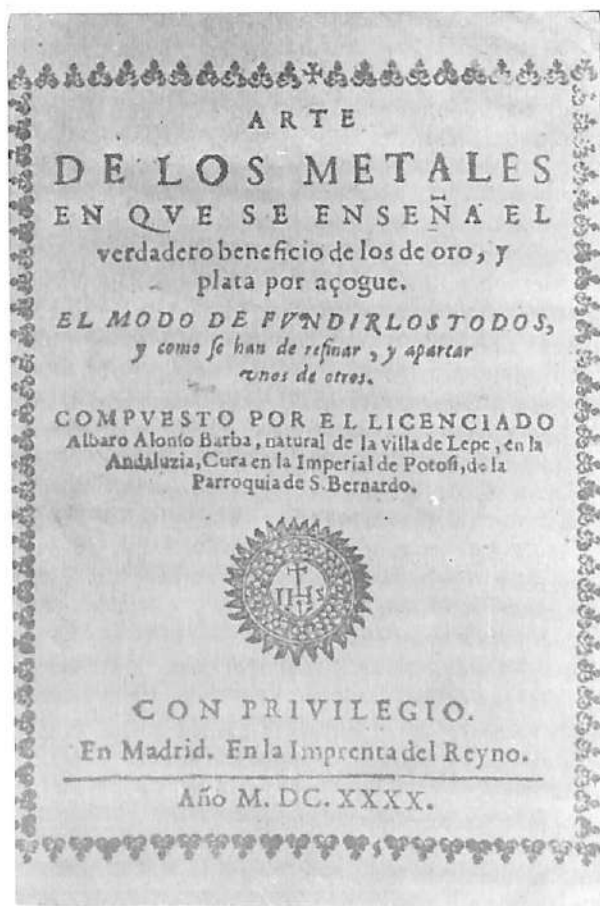
La tierra roja llamada por los Incas "Llimpi" y usada como colorante para pintura los españoles encontraron que era el igual que el "Vermilion-cinnabar" castellano, mineral de mercurio. Esto llevó al descubrimiento de las minas de mercurio de Huancavelica en Perú en 1566. El mercurio producido de estas minas fue luego embarcado a México y luego a Potosí para ser usado en la refinación de la plata.

En 1633, un nuevo proceso fue introducido en Perú para la recuperación del mercurio desde estos minerales que más tarde fue adoptado por las minas de Almaden en España debido a su éxito. En este proceso, el mineral es tratado por calentamiento directo en un horno de pisos en reemplazo del antiguo método de calentamiento indirecto de retortas de arcilla (posteriormente reemplazados por retortas de hierro).

### BARBA (1569-1966) Y EL PROCESO DE AMALGAMACION CALIENTE

Alvaro Alonso Barba nació en Villa de Lepe, Provincia de Huelva, España. En 1585, a la edad de 16 años, fue a la Colonia Española de la Real Audiencia de Charcas, la que incluía gran parte de la actual Bolivia. Allí él permaneció más de 60 años de su vida como sacerdote. Visitó diferentes minas de las colonias y en 1590 inventó el proceso de amalgamación caliente, el que reemplazó al proceso en frío en uso.

En este proceso, la amalgamación es realizada en vasijas de cobre llamadas "caldrons" en los que la pulpa de mineral es agitada y calentada al punto de ebullición calentando estos "caldrons" sobre una estufa. Mercurio y sal común eran adicionados y la pulpa hirviendo era agitada por varias horas hasta que se com-



Portada del libro "El Arte de los Metales", publicado en 1640 por A.A. Barba en Madrid.

pletara la reacción. El "caldron" se retiraba de la estufa, las colas eran lavadas con agua y la amalgama era recuperada. El cloruro de plata en el mineral era disuelto en la salmuera caliente y reducido al estado metálico por el cobre del "caldron" y luego amalgamada por el mercurio. El cloruro cuproso formado era también disuelto por la salmuera y actuaba como lixivante para el sulfuro de plata del mineral.

En 1640, Barba publicó en Madrid su libro "Arte de los Metales"; la traducción completa del título al inglés sería "The Art of Metals in Which is Taught the True Beneficiation of Gold and Silver with Mercury, the Mode of Smelting Them and How They are to be Refined and Separated Ore from Another". El libro está compuesto de cinco capítulos dedicados exclusivamente a: Minerales, Amalgamación, fusión, refinación y separación de metales. Este trabajo fue traducido al Inglés (1670, 1674, 1738, 1739, 1740), al Alemán (1670, 1676) y al Francés (1730, 1751). Una reimpression de la última edición en inglés fue publicada por John Wiley en New York en 1923.

Barba regresó a España en 1657, donde falleció tres años más tarde a la edad de 93 años.

## LA REAL CASA DE MONEDAS Y LA ESCUELA DE MINAS

Una Casa de Monedas fue establecida en Potosí en el año 1562 y la Escuela de Minas en el año 1757.

### NUEVA GRANADA.

El país actualmente conocido como Colombia fue gradualmente explorado por distintos grupos que penetraron al interior, desde Quito por el Norte y por el Sur desde las Costas del Caribe. En 1536-37, una expedición bajo el mando de Jiménez de Quezada alcanzó la meseta de Bototá y fundó la ciudad de Santa Fé de Bogotá, en el lugar de la capital nativa. Más tarde, en 1739, ésta llegó a ser la capital del Virreinato de Nueva Granada.

### EL DESCUBRIMIENTO DEL PLATINO

Dos destacados españoles, Don Antonio de Ulloa y Don Juan José Elhuyar, fueron enviados a Nueva Granada a estudiar y guiar la explotación de minas. Don Antonio de Ulloa (1716-1795) fue un matemático, oficial naval y viajero. En 1735 fue enviado a Perú en una misión científica. En su retorno en 1746 él llevó de regreso una muestra de una arena metálica gris que él colectó en un depósito de placer de oro en el distrito de Choco en Colombia y le dió el nombre de platina, diminutivo de plata.



*Dn. Antonio de Ulloa.*

En su libro, "Narración Histórica del Viaje a Sud-América", publicado en 1748, él describió su nuevo metal que posteriormente se conoció como platino. Él envió copias de su libro a miembro de la Sociedad Real de Londres, Wood obtuvo este metal mientras él estuvo en Jamaica como interventor, pero este metal fue importado desde Colombia.

En 1758, Ulloa fue enviado a Perú como Superintendente de las minas de Mercurio de Huancavelica. Como el platino podría ser aleado con oro, éste fue usado para adulterar el oro. Debido a que esta aleación resistía la separación, el Gobierno Español ordenó que el platino fuera botado a los ríos.

Medio siglo después de su descubrimiento el platino tenía pocos usos debido a la dificultad de trabajarlo. Esto fue solucionado sólo cuando el químico Inglés William Hyde Wollaston descubrió que el metal esponja se volvía maleable con fuertes compresiones y que podía ser recocido y forjado.

Don Juan José Elhuyar fue a la Academia de Minas de Freiberg en 1778 a estudiar Química y Metalurgia, igual que su hermano don Fausto. En 1788, fue enviado a Nueva Granada a dirigir la explotación de Minas.

El Cinabrio fue descubierto en 1786 en la provincia de Antioquia, en el Monte de Quindiu en la cordillera y en la provincia de Quito en un lugar Azogue y Cuenca.

### RECONOCIMIENTO

El autor agradece al Museo Nacional de Historia de Ciudad de México por facilitar alguna de las fotografías mostradas en este artículo.

### REFERENCIAS:

- BARGALLO MODESTO, "La Amalgamación de los Minerales de Plata de Hispanoamérica Colonial". Compañía fundidora de Fierro y Acero de Monterrey, México, D.F. 1969.
- CALVO, FELIPE A., "La España de los Metales", Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, Madrid, 1964.
- MAYER-ABICH, A., "Alexander von Humboldt", Rowohlt Taschenbuch Verlag, Reinbek bei Hamburg, 1967.
- ROSE, T.K., "The Metallurgy of Gold", Charles Griffin, Londres, 1902.
- WEEKS, MARY E., "Descubrimiento de los Elementos", Journal of Chemical Education, 1956.

Este artículo fue originalmente publicado en inglés en "The Canadian Mining and Metallurgical Bulletin", en junio de 1982. Traducido con la autorización del autor por el profesor José Palacios G.



## **EMPRESA NACIONAL DE EXPLOSIVOS S.A.**

CON TODA SU GAMA DE EXPLOSIVOS INDUSTRIALES  
Y EL MAYOR EQUIPO DE PROFESIONALES Y TECNICOS EXPERTOS  
AL SERVICIO DE LA PEQUEÑA, MEDIANA Y GRAN MINERIA.

— **GERENCIA GENERAL NORTE** (Antofagasta)

— **PLANTA RIO LOA** (Calama)

- Dinamitas • Nitro - Carbo - Nitratos
- Acuageles Gran Diámetro • Emulsiones Gran Diámetro
- A.P.D. (Pentolita) • Pentrita Refinada (PETN)

— **PLANTA MEJILLONES** (Mejillones)

- Nitrato de Amonio • Acido Nítrico • Amoniaco
- Nitro - Carbo - Nitratos

— **PLANTA VALLENAR** (Mina El Algarrobo)

- Acuageles Gran Diámetro • Nitro - Carbo - Nitratos

— **PLANTA LA SERENA** (La Serena)

- Acuageles Gran Diámetro • Acuageles Pequeño Diámetro
- Nitro - Carbo - Nitratos

— **PLANTA PUDAHUEL** (Mina Lo Aguirre)

- Nitro - Carbo - Nitratos

— **PLANTA EL TENIENTE** (Polvorines Barahona)

- Nitro - Carbo - Nitratos

**FUERZA DE UN FUTURO MEJOR**

# UNIVERSIDAD Y DESARROLLO REGIONAL (\*)



*Dr. Ing. Mario Meza M. Decano Fac. de Ingeniería  
Universidad de Atacama.*

Algunos académicos de diferentes especialidades de nuestra universidad al saber de la realización de esta "IV jornada de análisis del proceso de regionalización" se han preguntado un tanto confusos:

¿Es que los profesores universitarios debemos preocuparnos por los problemas del desarrollo?

Si ello es así, ¿Deberemos abandonar nuestras clases, dejar de lado nuestras ecuaciones y laboratorios para acudir a las necesidades de las poblaciones pobres, e intensificar nuestras preocupaciones por la sociología, la economía y la política?

Estas preguntas, sin duda lo que plantean, es la cuestión básica de la universidad; o sea ¿cuál es su función principal? (4). Para algunos, la función de la universidad tiene que definirse por una de estas dos alternativas, seguir por el camino de una institución puramente académica (la *universitas* clásicas como síntesis del saber superior), en que el profesor de matemáticas se concentra en sus ecuaciones y el de sociología en sus teorías de la sociedad ideal, el de economía en sus fórmulas econométricas y el de política en el análisis de los varios esquemas de gobierno; o bien la universidad redefine su propia concepción y sus esquemas operativo para orientarse al desarrollo de la comunidad bajo su influencia y para participar en las decisiones del país.

Es importante distinguir que la alternativa no se refiere a las preferencias particulares de un profesor de una Facultad e Instituto Universitario, sino a la institución como un todo, lo que se traduce en las políticas universitarias, entendiéndose por ello no solo las políticas universitarias de una universidad regional, si no que de todo el sistema nacional universitario pa-

ra, de este modo, evitar caer en el concepto vacío de una institución aislada que vive en un mundo que no es real del país (5).

Las alternativas planteadas pretenden señalar dos caminos antagónicos para las políticas universitarias; el académico, vía principal de la actividad intelectual "intramuros" de la universidad, o el de la participación directa de la institución en la actividad socio-económica-política-educativa-cultural del país, como camino principal de la "universidad extramuros".

Estos dos caminos mutuamente excluyentes, generan naturalmente diferentes posiciones dentro de la universidad ante lo cual surge de esta dinámica una tercera posición la cual busca un equilibrio entre las dos. Tal síntesis puede expresarse en una concepción de la universidad que la define "como" puente o vínculo entre el universo de saber general como el universo local en que la universidad está inmersa (6).

La crisis universitaria vivida en nuestro país en las décadas del 60 al 70 se debió en gran medida a una lucha interna por definir la función esencial de la universidad. Hubo a lo largo de la crisis cuestionamientos auténticos y válidos sobre la responsabilidad de la universidad con sus estudiantes, con las clases sociales desfavorecidas, con la investigación de los problemas nacionales, etc. (7). Pero este esfuerzo de cuestionamiento interno, en muchos casos, se debilitó y perdió su ruta debido a la radicalización de ideologías extremas (8).

El pluralismo ideológico, es un fenómeno normal

(\*) Trabajo presentado en la IV jornada de análisis del proceso de regionalización, Copiapó 1984.

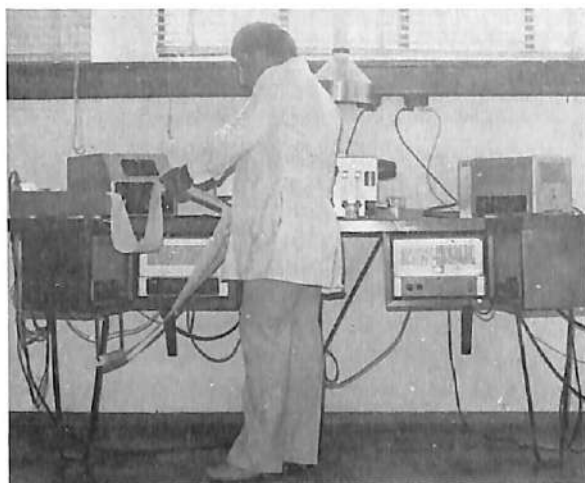
de las instituciones superiores y enriquece por el marco teórico de la Universidad cuando los diversos grupos no se traban en luchas intestinas estériles que degeneran en un ejercicio meramente retórico. La presencia del Estado, por su parte puede ser benéfica y enriquecedora del marco operativo de la universidad. Cuando se orienta al empeño planificado por comprender la fuerza pensante universitaria en los problemas del desarrollo nacional, pero esto no acontece en aquellos casos en que el Estado interviene como fuerza represiva y control ideológico y social de la universidad.

La universidad, debe buscar seriamente la conjunción entre vida académica alimentada con lo más depurado del saber universal y la acción innovadora de desarrollo de las diversas comunidades bajo su ámbito de influencias; comunidad científica, comunidad de estudiantes, comunidad local, comunidad nacional y comunidad interamericana.

En este esfuerzo de síntesis, la universidad no debe estar ni al frente ni a la retaguardia de la sociedad. Debe estar inmersa en ella como única estrategia para percibir los problemas y requerimientos de la sociedad como actitud investigadoras permanente, para experimentar soluciones para renovar sus propios cuadros y esquemas, actualizarlas y ponerlas al día, para inducir en sus estudiantes una actitud creativa y de compromisos social, para fertilizar las simientes de cambios social constructivo, criticar los desvíos de su sociedad y preveer el futuro. En el cumplimiento de su función esencial, la universidad-contemporánea requiere autonomía de investigación y pensamiento y compromiso externo. Con un mundo universal del saber y con todas las fuerzas decisorias del país.

El modelo de una universidad académica y literaria, que define el compromiso esencial de las instituciones superiores en términos de dictar clases magistrales disimulando su carencia de vida comunitaria con modestos programas de extensión y formando recursos estagnados para las corporaciones públicas y la empresa privada, ya no tiene vigencia en un mundo de conflictos, que exige atención a la vida comportamiento flexible, vitalidad de pensamiento, investigación permanente, redefinición de conceptos, identificación de problemas, experimentación de soluciones, todo lo cual implica una dosis de creatividad como jamás en el pasado fue exigida por el instinto humano de supervivencia, (9).

La función esencial de la universidad contemporánea exige que tanto profesores, como estudiantes, sin perder su inquietud por el mundo del saber superior, acepten el desafío de la problemática circundante como tema permanente de investigación de estudio y experimentación y la función básica del estado exige que los gobernantes se preocupen por que los problemas nacionales se enfrenten con actitud científica con rigor académico y sobre todo con creatividad.



El Sociólogo Max Weber advierte que cualquiera situación personal intitucional o social, se desarrolla en la política de acuerdo a la definición teórica que les demos. Así si una situación es definida negativamente, los resultados serán negativos, y positivos si lo definimos con actitud y pensamiento positivos.

El estado que define a su universidad como enemiga del régimen y carga insoportable del eranio público, y la investigación científica como asunto sin importancia, tendrá de hecho en la universidad a una enemiga pobre del orden establecido y en el sistema científico un débil apoyo en situación de subdesarrollo.

Por su parte aquellos universitarios que definan sus sociedades como establecimientos que hay que abolir y la actitud creativa como una trivialidad de lugares comunes, harán lo posible por producir el caos social y se tornarán, ellos, en pequeñas máquinas triviales de repetición y rutina. El divorcio entre Estado y Universidad es a la postre perjudicial para la sociedad, y es ella la que sentirá sus consecuencias (10).

Hay que precisar muy bien hasta donde puede ir el compromiso de la universidad con el desarrollo del país. De nada sirve la afirmación de que el desarrollo es función de la universidad, si por una parte la universidad no perfecciona su capacidad interna para participar en él de manera eficaz y si por otra parte el sistema sociopolítico en el cual la actividad que la universidad debe estar inmersa, carece de conciencia sobre el formidable potencial de desarrollo que tiene su sistema universitario.

Es importante que el gobierno incluya en su concepción de desarrollo la universidad y dicte políticas que incluyan en determinados puntos del proceso la actividad de sus universidades.

La universidad tiene, de hecho, un compromiso con el desarrollo. Sobre esto no se debe hacer cuestión, porque el desarrollo es la razón de ser de la universidad.

En cambio sí debemos cuestionar la forma en que



la universidad está cumpliendo con su misión de desarrollo y quizás más, la manera como el gobierno está estimulando esa misión.

El hecho de que todavía existan universidades encerradas en su torre de marfil es prueba de que esas universidades no están inmersas en sus sociedades, cambiantes y, lo que es más permanentemente cambiables.

El modelo de universidad y que parece más adecuado a la realidad nacional implica una concepción nueva de la universidad, definida como sistema universitario nacional. En el pasado, se pensó en la universidad como en la Universitas es decir como una entidad única, en el conjunto de las organizaciones de un país, que tenía a cargo el fomento del acervo científico y cultural de la sociedad. De ahí surgieron las teorías de marfil y las ideas del saber (11). En la actualidad, y debido a la gran cantidad de interrelaciones y ramificaciones de actividades primarias, esta concepción de aislación ha perdido vigencia. Para sustituirlo, debemos pensar en la universidad en términos de sistemas universitario, en el que se establezca una división del saber y una distribución de tareas referentes a la investigación y a la preparación de profesionales. Esta concepción distinta de la universidad supone, implica y lleva un replanteamiento de la concepción y políticas del desarrollo, en la cual la creatividad juega un rol relevante.

## DESARROLLO Y CREATIVIDAD

En contadas ocasiones es posible ver asociados los conceptos de desarrollo y creatividad.

Desarrollo ha sido definido por los economistas en términos de crecimiento económico y los indicadores que lo miden en una sociedad dada, tienen relación con el ingreso per cápita, el producto interno bruto, los índices de alfabetización de empleo, de urbanismo, electrificación, vías de comunicación, etc. tomado en las sociedades avanzadas. ¿Por qué se toman éstos indicadores del desarrollo y no otros?

Porque el desarrollo ha estado asociado casi exclusivamente con las obras del hombre y no con el hombre mismo. Este enfoque desarrollista ha dejado en el olvido al motor de todo progreso, que es la creatividad del hombre, la cual pasa de la potencia a la actividad creadora cuando individuos e instituciones penetran en las situaciones problemáticas, con autonomía de espíritu para buscar las soluciones. En oposición al enfoque desarrollista que está condicionando los valores y el comportamiento de las sociedades contemporáneas en vía de desarrollo y que no es otra cosa que la actualización de los viejos cánones del capitalismo protestante, para el que sólo las obras justifican (12).

Pocos conceptos aparecen mas inaccesibles a la casi totalidad de los seres humanos como el de la creatividad. Ello no se debe a que la creatividad sea inaccesi-

ble a los seres normales, sino a la manera cómo este concepto ha sido explicado. Ya que ha sido explicado como una anomalía.

El concepto de la creatividad requiere una mejor explicación. Identificarla con la obra del genio es excluirla del sistema educativo y de la problemática del desarrollo. Abrir su comprensión hacia otras categorías es posibilitar su inclusión en todo el proceso de la educación y en las metas del desarrollo.

La primera categoría suprema de la creatividad es sin duda la obra genial, concebida como invención de nuevas teorías, de nuevos sistemas de pensamiento sintético, de nuevas interpretaciones de la naturaleza, de nuevas conjeturas de pensamiento, de originales y vigorosas obras de arte.

La segunda categoría de la creatividad se presenta en la adaptación de los logros geniales al mundo de la tecnología de la productividad y de la organización social y económica. Se requieren sin duda capacidades creativas especiales en la invención tecnológica y en organización socioeconómica.

Una tercera categoría de la creatividad está conformada por el esfuerzo de inventiva que se requiere para ajustar las instituciones a su función fundamental. Esta creatividad de tipo gerencial se orienta a fortalecer las instituciones, a fin de que cumplan los propósitos para los que fueron creadas con eficiencia y eficacia. La inestabilidad de las instituciones humanas y su natural tendencia a desviarse de sus objetivos y metas hacen imperativa la demanda de la capacidad creativa de sus gerentes en busca de la convergencia permanente de las instituciones a sus objetivos básicos. El esfuerzo por mantener viva y joven una institución, no es inferior a la capacidad que se exigió para crearla. El gerente creativo es un generador de su institución.

Finalmente, sirviendo como base al mundo humano, la cuarta categoría de la creatividad se presenta como la inventiva de los individuos para orientar y organizar su vida en el camino de la realización personal, del logro de la independencia, del prestigio social, y de los principios morales. Es así que el hombre es una totalidad en curso y no una totalidad acabada.

Dentro de este concepto ampliado de creatividad, las tareas del desarrollo encuentran un panorama nuevo; porque la creatividad es actividad disciplinada y persistente del pensamiento, receptividad a lo estético, comprensión humana, amor a la vida, seguridad en sí mismo, sencillez y autenticidad. Puede presentarse en toda persona humana normal, en toda institución, en la fábrica tecnológica, en la organización social y en los logros del genio. Todos tenemos cabida, y todos estamos interesados en activarla y en llevarla a la acción. Todo lo que es auténtico de ella, eliminando la alienación cotidiana de los repetitivo, prestado y rutinario. Todo lo que brota de la creatividad tiene su sello propio y envuelve un reto a la mediocridad. Por

ello el concepto de desarrollo vigente, debe necesariamente incluirlo dentro de su esquema (13).

El desarrollo, en la perspectiva de la creatividad, se centra vigorosamente en el ser humano, y el problema que confronta es cómo hacer y qué hacer para inducir la creatividad en las personas y en las instituciones.

Dentro de esta perspectiva, la concepción del desarrollo puede seguir aferrada a modelos foráneos que solo tienen en cuenta los resultados de un proceso diseñado para el crecimiento material y logrado en base a máquinas y tecnologías importadas, que vienen a transformar o más bien a violentar, la naturaleza sin el esfuerzo creativo de quienes la utilizan (14). Debemos en cambio buscar un desarrollo, en el que el hombre sea núcleo esencial. Esta nueva concepción del desarrollo centra su atención en el hombre, activo en el pensamiento y la acción, sensible a lo estético, vibrante de comprensión hacia los demás seres humanos, espontáneo y auténtico en su percepción del mundo natural y celoso por el embellecimiento de su ambiente y por la conservación de sus recursos.

En este camino, una de nuestras primeras tareas está en redefinir el concepto mismo de desarrollo, si lo seguimos definiendo en términos de modelos de crecimiento, ingreso per cápita, kilovatios/hora, kilómetros de carreteras, índices de empleo, etc. y si seguimos programando nuestra actividad exclusivamente dentro de estos modelos y de estas líneas de acción, el resultado seguirá siendo el mismo que en el pasado; el débil crecimiento de una prosperidad que no resiste las crisis económicas y el incremento de nuestra dependencia filosófica, científica, tecnológica, económica y cultural que hacen que la distancia entre los países desarrollados y los en vía de desarrollo sea cada vez mayor con el tiempo.

El desarrollo que se propone, pone su acento en el

desarrollo autónomo del ser humano y de sus obras, y sus términos de referencia se formulan como la necesidad de inducir un comportamiento creativo en los individuos, las instituciones y las organizaciones estatales y privadas.

En el modelo de crecimiento económico se asignó importancia a los adelantos científicos y tecnológicos, pero se consideró prácticamente imposible evaluar el papel de la ciencia y la tecnología en el proceso del desarrollo. Algunas estimaciones gruesas han calculado que en los países desarrollados la tecnología influye de sesenta a ochenta por ciento en la tasa del crecimiento y asignándose los porcentajes restantes a los factores productivos nacionales, es decir, trabajo y capital (15).

Existe consenso respecto de la importancia de la ciencia y la tecnología en el crecimiento económico tanto de los países desarrollados como de los subdesarrollados; sin embargo, la diferencia en uno y otro caso es muy considerable; en los países desarrollados el crecimiento económico va acompañado de creación e incorporación de conocimiento científicos y tecnológicos, dentro de un sistema organizado y bien financiado de investigación y experimentación, en el que se otorga amplia participación a las universidades. Esta participación no es neutral en sus valores. A las universidades se dan enormes cantidades de recursos, no para realizar lo que ellas quieran, sino que para responder a objetivos del Gobierno, como, por ejemplo, la seguridad nacional. En 1962, el 90% de los gastos gubernamentales de Estados Unidos, en ciencia, se destinaban a fines militares (16). En el año 1980, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos y la Comisión de Energía Atómica financiaban el 25% de la investigación básica del país.

En los países en vías de desarrollo, predomina la



utilización de conocimientos científicos y tecnológicos que han sido generados fuera del Contexto Nacional, se carece de un adecuado sistema científico-tecnológico, y se evita la participación de la Universidad en las tareas de investigación, experimentación y administración de proyectos de desarrollo nacional (17).

Así como la ciencia y la tecnología se han convertido en factores superiores y dominantes para prosperidad de los países desarrollados, la carencia de conocimientos científicos y de medios tecnológicos se ha convertido en factor también dominante del subdesarrollo y atraso de muchos países (18).

La generación de conocimientos y tecnologías parece tener su prerrequisito, sin el cual el proceso creador no se presenta. Se trata más de una actitud, que de capacidad mental. Es interesante indicar la forma de cómo se confrontan los problemas del desarrollo. En los países avanzados, toda la capacidad nacional se pone en juego cuando un peligro crítico pone en peligro la supervivencia de las instituciones o atenta restringir la calidad de la vida. Hoy, ante la crisis energética del petróleo, los países desarrollados están aunando su capacidad científica, tecnológica y financiera, en una decidida búsqueda autónoma de soluciones, y dentro de este movimiento la universidad es pionera. En los países en vía de desarrollo, los problemas se experimentan con agudeza, pero las soluciones se buscan llamando a una misión extranjera, para que haga el diagnóstico del problema y sugiera alternativas. Luego se negocia un préstamo con una agencia de desarrollo, se genera un proyecto, y se busca una firma consultora externa (que en algunas ocasiones subcontrata empresas nacionales) para que lo administre. Es posible que el problema sea resuelto, pero el proceso no ha permitido ni la generación autónoma de conocimiento, ni a lo largo del mismo han hecho aparición tecnologías propias. Ha faltado, en síntesis, aquella voluntad creadora que busca el fondo de los problemas, que experimenta alternativas, que aplica capacidad y que encuentra soluciones. Es urgente que el gobierno, dicte políticas en relación con el manejo de algunos proyectos de desarrollo nacional en el sentido de confiar en la capacidad de sus instituciones superiores en aquellas etapas del proceso de desarrollo que impliquen generación de conocimientos y tecnologías.

## UNIVERSIDAD Y CREATIVIDAD

La creatividad, como función y tarea de la universidad, presenta una gran cantidad de tópicos para la reflexión, ante lo cual, solo me referiré a dos de ellos:

- La formación de hábitos creativos
- La generación de conocimientos analíticos y tecnológicos.

En lo relativo a la formación de hábitos creativos, la universidad que descuida lo que es sustancial como

el adiestramiento en el pensamiento analítico, la percepción de la belleza, la hechura de la libertad, la comprensión de los demás, y el compromiso social, la admiración de los fenómenos naturales, el pensamiento sintético, la seguridad en la propia inventiva; esa universidad está fallando en su tarea esencial frente a sus profesores y alumnos.

Si la investigación y experimentación académica se limitan a la repetición rutinaria de pruebas de laboratorio, en confirmación de ciertos principios científicos aceptados como dogmas, si no existe un ambiente espontáneo y sensible de cuestionamiento de las llamadas verdades científicas, y si no se explican los aciertos de la ciencia como meras conjeturas superables, poco campo queda para la creatividad. La universidad sí puede y debe velar porque en todo el proceso educativo previo, la creatividad se imponga como objetivo y meta de todo el aparato escolar. La universidad debe plantear una orientación del desarrollo de la persona humana, destinada a ser fundamento sólido del desarrollo de la sociedad. La universidad puede y debe propiciar un ambiente de investigación y pensamiento sintético.

La generación de conocimientos analíticos y tecnológicos se logra en la universidad, por investigación pura y aplicada (19).

El problema de la investigación científica, como problema nacional, no ha sido definido aún con claridad en el país; esfuerzos se han hecho para crear Institutos de Investigaciones y crear el Fondo Nacional de Investigación Científica y Tecnológica, sin embargo los Institutos están bajo la política de autofinanciamiento y los fondos Nacionales son escasos, con la cual la actividad de investigación no puede desarrollarse en la forma que debería, a esto se agregan los escasos recursos con que cuentan para esta actividad las nuevas universidades creadas como necesidad de la REGIONALIZACION.

La programación de la investigación no ha podido definir campos prioritarios para la investigación universitaria, que ha sido dejada a su propia suerte. No existe una programación de la investigación, y en consecuencia los temas sobre lo que se investiga no obedecen a una necesidad nacional prioritaria. Por lo general, las investigaciones que arrojan resultados de importancia se publican en revistas del extranjero para uso de la comunidad científica internacional. Muy pocas veces esos resultados son utilizados dentro de la propia universidad y poquísimas en el país que los genera. Es importante destacar que la creatividad no se hará presente hasta el día en que el Gobierno se decida a comprometer a sus universidades en el diagnóstico y solución de sus problemas.

La preparación de la Universidad en las tareas investigativas dentro del proceso del desarrollo, cambiarán la actual desventajosa situación investigativa en nuestra universidad, le ganarán confianza y credibili-

dad en el Gobierno y le permitirán participar con eficacia en las tareas fundamentales del desarrollo; formación de recursos humanos y la generación de conocimientos analíticos y tecnológicos.

### LA ACCION DE LA UNIVERSIDAD REGIONAL EN EL DESARROLLO DE SU REGION.

La actuación de la Universidad sobre los grandes problemas del país, es un tanto utópica. En general los gobiernos no suelen encomendar a sus universidades los estudios de base de un plan nacional de desarrollo, ni los estudios de prefactibilidad de sus grandes proyectos de desarrollo. Tampoco suelen encomendárseles la ejecución de proyectos de desarrollo de gran envergadura. Marginada de esta forma la universidad de los grandes problemas nacionales, no tiene otro camino que iniciar su acción de desarrollo sobre ámbitos que pudiéramos llamar de pequeña influencia.

Esta situación debe ser definida positivamente por la universidad y aprovechada al máximo. A la universidad se le abre la perspectiva de un camino más corto y seguro hacia la creatividad y ciertamente más humano, conocido como la tecnología intermedia "O TECNOLOGIA PARA LA PRODUCCION DE LAS MASAS".

Este es sin duda, el camino más interesante y más real para la participación paulatina de la universidad en el proceso de desarrollo. Por lo demás, es el más auténtico y posiblemente el más fecundo: desarrollar tecnologías apropiadas a las condiciones locales haciendo uso de conocimientos generales en uso de las altas tecnologías. Por el camino de la adaptación se llegará al camino de la generación.

La tecnología de producción por las masas, haciendo uso de lo mejor del conocimiento moderno y de las mejores experiencias, conduce a la descentralización, es compatible con las leyes de la ecología, demanda poca cantidad en el uso de recursos escasos y está diseñada para servir a la persona humana en vez de hacerla esclava de la máquina. En esta tecnología de pequeña empresa, de artesanías, de trabajo individual, todo ser humano tiene entrada. Y aunque conocemos sus principios, aún se requiere un esfuerzo sistemático y creativo orientado a darle existencia activa y a hacerla practicable por las grandes masas.

En este campo, la universidad encontrará suficientes tareas para crear y hacer crecer a las sociedades bajo su influencia. Cuando las comunidades acepten la acción de la universidad en este sentido, y comiencen a transformarse haciendo hermosas cosas pequeñas, la universidad recibirá el reconocimiento, en su misión de desarrollo, que por ahora no es más que una aspiración.

El conocimiento de esta extraordinaria tarea se debe iniciar por la identificación y definición de los as-

pectos cruciales del desarrollo de la sociedad local; debe luego seguir el diseño de proyectos de desarrollo comunitario, en que se combinen los conocimientos avanzados que son del dominio universitario con las tecnologías apropiadas que son más del dominio de la sociedad; por estos proyectos, la universidad apoyada por fuentes financieras a la mano (empresa privada, fundaciones nacionales y extranjeras, asistencia de agencias de desarrollo), avanzará hasta el frente de onda, donde se genera confianza de parte de la sociedad y del Gobierno, y la universidad se capacita internamente en operaciones de diagnóstico, diseño y ejecución de proyectos de desarrollo.

### CONCLUSIONES

De los hechos recién expuestos se pueden desprender las siguientes conclusiones:

1) El compromiso de la universidad regional con el desarrollo de su Región podrá hacerse real una vez que se cumpla una serie de prerequisites básicos, entre los que destacan:

a) la creatividad debe empezar a formar parte de las preocupaciones vitales de toda actividad universitaria, a fin de estimularla en directivos, profesores, estudiantes y sociedad en general.

b) para llevar la capacidad creativa en potencia, al acto de creación, la Universidad debe independizarse de esquemas de comportamiento impuestos desde fuera y que no estimulan las fuerzas autónomas latentes en las universidades.

c) la universidad debe capacitarse en técnicas de investigación pura y aplicada y en diagnóstico de situaciones problemáticas, así como en el manejo de proyectos de desarrollo de envergadura; y el Gobierno debería utilizar esta capacidad en los planes y proyectos de desarrollo. Mientras la universidad continúa aislada de las políticas estatales de desarrollo, se prolongará indefinidamente la desconfianza que algunos Gobiernos experimentan frente a la capacidad investigativa y de gestión de la universidad, frente al pluralismo ideológico, que florece espontáneamente en las Instituciones de educación superior.

d) tanto el Gobierno como las empresas privadas y estatales deben poner recursos financieros en el dominio específico de la investigación universitaria, si esta condición no se llena, la investigación seguirá siendo irrelevante y no se podrá generar un sistema racional de ciencia y tecnología, que se experimenta como necesidad de alta prioridad.

e) las universidades regionales creadas recientemente en el país, deben contar con un presupuesto justo que les permita tener académicos de alta calidad que garanticen la acción creativa de la universidad en llevar a la realidad los Planes de Desarrollo Regional.

2) Los países desarrollados le han impuesto al mundo contemporáneo una distribución internacional

del trabajo, que incluye una distribución internacional del trabajo científico y del manejo tecnológico. Esta distribución genera otra distribución internacional del desarrollo. Los países industrializados se han asignados para sí la generación de conocimientos y tecnologías y los más altos niveles de bienestar y calidad de vida. A los subdesarrollados se les asigna la asimilación de conocimientos generados fuera, el uso de patentes tecnológicas importadas, la aceptación de valores y técnicas vigentes en los países avanzados y la administración de su dependencia.

a) Si la universidad se decide a intervenir en el desarrollo, debe definir su misión con claridad: el pensamiento creativo no se ha desarrollado en la historia como una forma de repetir lo que otros han descubierto o formulado, ni tampoco como una forma de pensamiento retórico cuyo objeto es dar respuestas verbalmente satisfactorias sobre cualquier pregunta que le puede ser planteada sino como un pensamiento que se sumerge en los hechos naturales y en los problemas humanos, a fin de conocerlos y de buscar técnicas para humanizar la naturaleza y alternativas para resolver los problemas. El pensamiento creativo y científico se diferencia del pensamiento verbal en el hecho de que surge y prueba su validez en la acción.

b) Las tareas más importantes en el futuro de la universidad son la investigación y el compromiso en la acción del desarrollo.

c) Una acción modesta, si se quiere, pero indiscutiblemente fecunda para la universidad es su compromiso con la pequeña y mediana industria, que carece de capacidad para la investigación, y que sin embargo está utilizando técnicas simples de administración y tecnologías a la mano. En el campo de las artesanías, en el campo de las corporaciones de desarrollo, la universidad puede abrirse el camino para inducir la creatividad y ayudarlo a llegar a un sólido nivel de productividad.

3) Se sugieren algunos campos de acción en los que podría ser muy útil el aporte de agrupaciones universitarias de tipo regional.

a) El esclarecimiento de los métodos para inducir la creatividad como un prerrequisito del desarrollo.

b) La conveniencia de la participación del sistema universitario nacional en el estudio de investigación y diagnóstico de los problemas nacionales.

c) Apoyar la vinculación de las universidades en proyectos de desarrollo de las comunidades bajo su radio de influencia, a distintos niveles tales como vinculaciones con la administración local, con empresas de mediano y pequeño tamaño, con organizaciones comunitarias y otros.

d) Difundir las experiencias más creativas que se desarrollen en los distintos centros académicos.

## BIBLIOGRAFIA

1. GONZALEZ SAMOHOD, Alejandro; "El nuevo Sistema de Gobierno y Administración Descentralizada, Pilar de la nueva Institucionalidad Democrática en Chile". Clase Magistral del intendente de la región de Atacama, coronel (E) Alejandro González Samohod, en la inauguración del curso de Administración Educacional de la Universidad de Atacama, 03 de abril de 1984.
2. BERNSTEIN JIMENEZ, Felipe; "Crecimiento Económico regional, Generación de Empleos y Palancas de Desarrollo de la región de Atacama". Presentado en IV jornadas de Análisis del proceso de regionalización" efectuado el 08 y 09 de agosto de 1984 en Biblioteca Pública de Copiapó.
3. O.E.A.: "Universidad y Desarrollo Regional", marzo 1980 C.I.N.D.A. (Centro Interuniversitario de Desarrollo Andino).
4. PALERM, A. "Universidad y Cambio Social", en jornadas de Educación, universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco, México. 1976.
5. Consejo de Rectores de Universidades Chilenas; "Subsistema Universitario Nacional". Documento N° 12, Santiago, Chile, Marzo 1976.
6. RIBEIRO DARCY: "La universidad Latinoamericana", Editorial universitaria, Santiago, Chile 1971, págs. 107 en adelante.
7. TEXEIRA, Anísio: "Aspectos de la Reconstrucción de universidades Latinoamericanas", Revista Brasileira de Estudos pedagógicos, V al XLVII, 1967, págs. 55-57.
8. GONZALEZ CASANOVA, P.: "El contexto político de la Reforma Universitaria, Deslinde 18 UNAM de México, 1922.
9. LIEBMAN, Arthur; "Latin American University Students". A Six Nations Study". Harvard University Press, 1972.
10. MACHADE, Edson; "Enseñanza Superior: calidad Amenazada?". Universidad Federal de Pernambuco, 1976.
11. VALDES, Gabriel; "Algunos Desafíos de las Universidades Latinoamericanas", universidades, N° 53. UDUAL, México. 1973.
12. STAGER, Hans-Albert; "Las Universidades en el Desarrollo Social de América Latina". Fondo de cultura de México, 1974.
13. WEBER, Max; "La Ética Protestante y el Surgimiento del Capitalismo". Fondo de Cultura Económica, México, 1961.
14. GOULET, Denis; "A new Theory in the Concept of Development". 1971, IDOC Book, Maryknoll, N.Y.
15. DO SANTOS, Th.; "El Nuevo Carácter de la Dependencia". CESO, Santiago, Chile, 1968.
16. ROSENSTEIN-RODAN; "Segunda Reunión del CIECC" Lima, 1971.
17. BERNAL, John D.; "Historia Social de la Ciencia", Barcelona, Editorial Península, 1967, Vol. II.
18. GARIBAY, Luis; "Las Innovaciones de la Educación Postsecundaria en México". Presentada a LACFEP., Caracas, 1976.
19. YUNIS AHNES, Eugenio; "Asignación de Recursos y Política de Investigación para la Ciencia y la tecnología. El caso de la Universidad de Chile, Ediciones C.P.U., Santiago, Chile, 1972.
20. SAAVEDRA GATICA, Igor; "Educación Superior y Desarrollo Científico y Tecnológico". Educación Superior, se buscan respuestas, P.A.D. 24-25 mayo 1984, Santiago.

**CENTRO  
DE INVESTIGACION  
MINERA Y METALURGICA**



**SALUDA  
A LA  
UNIVERSIDAD  
DE ATACAMA  
EN SU  
CUARTO  
ANIVERSARIO**

**SEDE CENTRAL SANTIAGO:**  
Av. Parque Institucional 6500  
Casilla 170 - Correo 110 - Teléfono (02)-2289544  
**SEDE LA SERENA:**  
Balmaceda 3680 - Teléfono (051)-212157  
Casilla 147 - La Serena

**COMPAÑIA  
EXPLOTADORA DE MINAS  
SAN ANDRES LTDA.**



**PLANTA DE CONCENTRACION  
Y LIXIVIACION  
ELISA DE BORDOS**

**CHAÑARCILLO 490  
TELEFONO: 2047  
CASILLA 366  
COPIAPO**

**Ilustre Municipalidad de  
Diego de Almagro**



# Sociedad Contractual Minera Toqui



Andrés Zauschquevich K. (\*)



En el valle  
del río Toqui.  
Frente a las minas  
Antolín y Zúñiga.

## INTRODUCCION

Esta sociedad privada, chilena, desarrolla sus actividades de polimetálicos en la majestuosa XI Región de Aysén, habiendo entrado en producción en el mes de octubre de 1983.

Las pertenencias mineras de la sociedad cuentan con yacimientos polimetálicos, y otros que se ubican desde Coyhaique, por el sur (yacimiento de  $\text{CaCO}_3$ ), hasta el río Cisnes por el norte (sector katterfeld II, con la mina Santa Teresa; polimetálico con: Au-Ag-Zn-Cd-Pb-Cu). Por el oriente limitan con la frontera argentina (yacimiento Katterfeld I, polimetálico con: Au-Cu-Ag-Zn-Pb) y por el poniente con el macizo de Los Andes (yacimiento Sally: Zn-Pb-Ag-Cu). Los límites geográficos, aproximados, se enmarcan en el rectángulo: latitud  $44^{\circ}\text{-}40'$  Sur a  $45^{\circ}\text{-}45'$  Sur y longitud  $71^{\circ}\text{-}50'$  Oeste a  $72^{\circ}\text{-}20'$  Oeste. Toqui es el centro principal de actividad en el sector llamado Alto Mañihuales, ubicado en la Provincia de Coyhaique.

Allí se han desarrollado las minas subterráneas: San Antonio, Zúñiga y Antolín; la planta de flotación

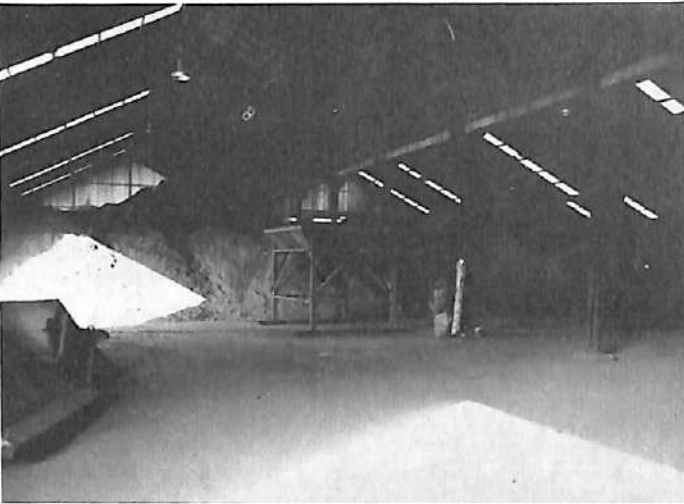
diferencial de Zn/Pb, la central hidroeléctrica, bodega de materiales, maestranza y talleres, laboratorio químico y metalúrgico, campamento, oficinas, policlínico, etc.

A 30 kms al Norte de Toqui, con el territorio de la República Argentina —de por medio— está el sector de Katterfeld II, con las minas subterráneas de Santa Teresa I y Santa Teresa III (o Veta Pinilla). La distancia por camino carretero es de 100 kms. Allí se cuenta, además, con un campamento, una planta de selección y lavado, servicios auxiliares, pequeña central diesel-eléctrica, etc.

En la ciudad de Coyhaique hay un servicio de apoyo administrativo, legal, computacional y bancario.

Finalmente, en el Puerto de Chacabuco —a 116 kms. de Toqui— se tiene una gran bodega techada y oficinas que puede acumular 9.000 T.M. de: concentrados de Zn, concentrados de Pb y minerales de ex-

\* Ingeniero Civil de Minas (U.Ch.), Ex Gerente de Toqui  
Miembro de la Junta Directiva de la U.D.A.



Puerto Chacabuco. Bodega de Concentrados.

portación (D.S.O.). Una cinta transportadora diseñada para cargar 100 T/hora de concentrados, permite cargar directamente de tierra a bodega de buques transoceánicos. El buque más grande que se ha atendido fue de 45.000 T.D.W.

El personal total que labora en los centros antes mencionados alcanza alrededor de 500 personas, entre las cuales se incluyen alrededor de 25 técnicos, ingenieros de ejecución e ingenieros civiles.

## Geología del distrito Toqui

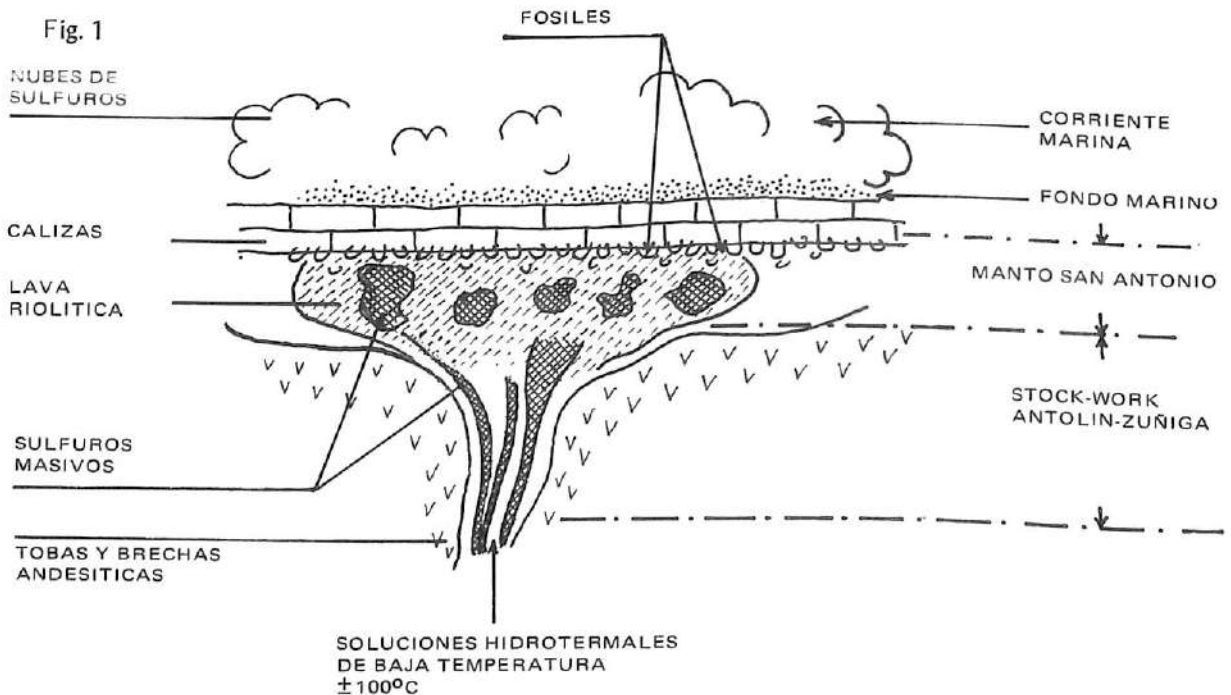
En un mar bajo y en una extensa bahía, que existió en el cretácico superior, se formaron los yacimientos

polimetálicos de Toqui, que hoy conocemos con los nombres de: San Antonio, Estatuas I al V, Concordia, todos ellos del tipo manto, y debajo de ellos —en un stockwork— los yacimientos vetiformes que hoy conocemos con los nombres de Zúñiga y Antolín.

En los yacimientos tipo manto se encuentra abundantemente el fósil *exogira culloni*, que confirma la edad de los yacimientos. El año 1984 una misión geológica chileno-británica determinó en  $105 \times 10^6$  años la edad del manto San Antonio, mediante la aplicación de técnicas radiométricas.

La formación de estos yacimientos, según el Dr. José Ambrus, corresponde al modelo de la Fig. 1.

En un mar poco profundo, de superficie sinuosa, cuyo fondo está constituido por tobas y brechas andesíticas se ha producido un intenso fracturamiento —stockwork—, preponderantemente N-S, como también fracturas diagonales. Por ellas han penetrado lavas riolíticas claras, que han cementado las tobas volcánicas de color verde, sueltas y esponjadas, sedimentadas en el fondo marino. Luego, soluciones hidrotermales de sulfuros metálicos y de baja temperatura ( $\pm 100^\circ\text{C}$ ) han penetrado por los múltiples ductos y fracturas del stock work y —en seguida— descargado nubes de sulfuros al fondo marino. Las corrientes de agua marina han repartido los sulfuros que, por su alta densidad, han decantado rápidamente, rellenando y reemplazando los sedimentos del fondo, entre ellos: tobas, calizas y fósiles calcáreos, dando origen —así— a las formaciones de mantos, con espesores mineralizados con sulfuros masivos de 3-15 metros de potencia.





Posteriormente se han acumulado capas de lutitas, que han sellado los mantos mineralizados.

Finalmente, importantes fenómenos orogénicos y tectónicos levantaron el fondo marino, produjeron plegamientos y fallas y dejaron expuestos los mantos a la erosión glacial y fluvial.

Los mantos mineralizados —de color negro— tienen rumbos N-W y manteos entre 10-25°-E. Están fuertemente cementados por sílice.

Los minerales principales son:

**Pirrotina.** Muy abundante, de color dorado opaco. Reemplaza casi siempre, al fósil exogira culloni, ya sea parcial o totalmente. Fuertemente magnética.

**Pirita de Fe.** Abundante. color blanco a amarillento suave.

**Marmatita.** Este sulfuro doble de Zn y Fe —en masas gruesas— es el mineral comercial de San Antonio y demás mantos. Las leyes de Zn varían entre 6-11%, con un promedio estable de 8,5%. Contiene, en su molécula, pequeñas cantidades de Ag: 5-20 grs/T.M.

**Galena.** Muy escasa. Parece encontrarse sólo en lugares en que las grietas del stock work inferior alcanzaron el manto. Las leyes de Pb son del orden de 0,15-0,25%. Carece de importancia comercial.

**Calcopirita.** Muy escasa. Las leyes son del orden de 0,10-0,15% de Cu. No es comercial su recuperación.

**Oro.** El manto San Antonio no acusa leyes en Au. En cambio, el manto Estatuas, situado al sur-oeste de San Antonio tiene leyes en Au que suelen alcanzar 1 gr/T.M.

Los yacimientos descritos, tipo manto, pueden clasificarse como los famosos kuroko de Japón (black-ore).

Ahora describiré, brevemente, la geología del Stock-work, que está tipificado por las minas Zúñiga y Antolín. Como anécdota debo citar que el dueño del predio donde se hallan estas minas se llamaba don Antolín Zúñiga. La memoria de este desaparecido poblador ha quedado honrada con ambas minas polimetálicas, cuyos nombres, perdurarán en las páginas de la historia minera.

Al lado norte del río Toqui y, a unos 400m al poniente del campamento minero original se ubica la entrada a la mina Zúñiga. A unos 300m más al poniente se halla la boca mina de Antolín. La roca encajadora es toba andesítica. Las paredes del valle son casi verticales, debido al antiguo glaciar. Perpendicularmente al valle se detectan varias fallas mineralizadas, N-S.

En la superficie y, hasta varias decenas de metros, las grietas son de pocos centímetros, levemente mineralizadas por sulfuros. La matriz es cuarzo. Hay, además sericita y clorita. Al interior se producen bolsonadas de sulfuros masivos: galena, blenda, calcopirita, pirita. En la mina Zúñiga los bolsones son muy irregulares, variando en potencia de 0,5-4m. En la mina Antolín, la mineralización comercial es más continúa

y potente: varía de 1-20m la potencia de las "vetas" sub-verticales.

La mineralización comercial es la siguiente:

Mineral	Mina Zúñiga	Mina Antolín
Blenda	7 - 12% Zn	10 - 30% Zn
Galena (argentífera)	4 - 10% Pb (40-60 grs. Ag)	1 - 5% Pb (70 - 100 grs Ag)
Calcopirita	0,5 - 1,5% Cu	0,5 - 3% Cu
Oro	Nada	0,5 - 3 gr/T.M.
Cadmio	Indicios	0,10 - 0,15%
Pirita de Fe	Regular	Escasa

A unos 45m de altura sobre el lecho del río Toqui (Cota ± 700 m.s.n.m.) hay una potente cubierta de lavas andesíticas. Los sulfuros masivos no pasan a las lavas. No hay presunción de mantos mineralizados, encima de ambas minas. La erosión glacial aparentemente los eliminó.

### Geología del distrito Katterfeld II



*Este es el panorama del sector Katterfeld II, mirando desde la "Montaña Mágica" hacia el norte. Se observa el curso del estero Moro, que desemboca en el río Cisnes (al fondo). Zona de bosques de lengas y coigües, glaciares, cóndores y pumas.*

Aquí hay dos formaciones geológicas: andesitas estratificadas, hacia el sur oriente del valle del estero Moro. Esta formación recibe el nombre de Divisadero (Cerro en las inmediaciones de Coyhaique). Hacia el sur poniente aparece un gran intrusivo granítico.

La formación andesítica termina a los 1.400m.s.n.m. en una planicie que se eleva lentamente hasta la frontera argentina. En cambio la formación granítica se eleva hasta los 1.800m.s.n.m. En el contacto entre ambas formaciones hay una importante falla mineralizada. Ella corre, de sur a norte alrededor de 500m y luego tuerce hacia el Nor-Oeste, en una extensión adicional de unos 6,5 kms. en medio de bosques impene-

## desarrollos de ingeniería

trable, glaciares y elevadas montañas. La falla suele tener varios metros de potencia, con mineralización bandeada de sulfuros masivos. La ganga principal es cuarzo; hay bastante arcilla estéril y sericita. Se conocen ya varias claves de leyes en Au, Ag y metales básicos, separados por sectores de falla estéril. La presencia de andesita intrusiva —en el granito rosado— produce un fuerte fracturamiento y el clavo se ensancha a 5 o más metros (Ing. Santiago Pinilla B.). El manto de la veta es desde sub-vertical a 52° N-E.



*La "Montaña Mágica". Al fondo del campamento de Santa Teresa se alza a 1.400 m la formación estratificada. En su costado derecho, a 1.370m aflora la veta Santa Teresa I, la que corre aproximadamente —siguiendo la quebrada de la derecha— quebrada de la mina— en medio de los bosques de lengas. El cerro nevado es la formación granítica. El campamento se halla a una cota de 800m.s.n.m.*

Los minerales comerciales son los siguientes:

**Blenda.** De color rubio, cuyas leyes aumentan a medida que se baja de cota. Ley de Zn: 8-35%. Contiene Cd de 0,05-0,25%.

**Galena.** Muy abundante en la parte superior de la veta. Decae el contenido en profundidad. Contiene Ag entre 50-500 grs/T.M.

**Calcopirita.** Pequeño contenido en el afloramiento superior y un aumento notorio en profundidad. Leyes entre 0,5-5% de Cu.

**Pirita de Fe.** Relativamente abundante.

**Oro.** Está presente en todas las especies mineralógicas y en la ganga, caso poco frecuente en la naturaleza. Aparece como Au libre y Electrum, en partículas de hasta 50 micrones, en : blenda, galena, calcopirita, pirita y cuarzo. Las leyes de Au típicas varían entre 8-120 grs/T.M. Esto indica que la "Montaña Mágica" encierra un extraordinario yacimiento aurífero, con subproductos de gran valor (Zn-Cd-Ag-Pb-Cu), único en Chile, fuera de El Indio.



*Afloramiento de Santa Teresa I. Se observan tres quebradas (al centro hay 3 hombres haciendo levantamiento topográfico). Ellas están atravesadas por el afloramiento, en relieve positivo. La parte más clara corresponde a una fuerte argilización. Encima de ella se observa rocas de la formación andesítica. Debajo del afloramiento y, muy claramente, en el fondo de la quebrada, aparece la formación granítica. La parte superior derecha muestra la planicie, cubierta de pasto a más o menos 1.400 m.s.n.m.*

En este sector se inició la explotación de la mina, mediante un "Glory hole". después de construirse un difícil camino de acceso para camiones.

## MINERIA

### Mina San Antonio

El acceso al manto principal de Zn es un camino de grava, de primera clase, que se extiende 3 kms. hasta la Planta de Flotación.

El camino, para vehículos pesados, termina a la cota 850m.s.n.m. Allí se ha perforado un túnel de 290m de longitud y sección 4x4m. En la foto de la página siguiente se observa dicho túnel. Encima de él se ve el manto oscuro, que tiene 8m de espesor. También se ve la manga de ventilación forzada de 300mm de diámetro.

Se han desarrollado caserones, sistema room and pillar, hacia el oeste. La pendiente del manto varía entre 10-22%. Los caserones típicos tienen 8m de ancho, todo el alto del manto y 105m de largo, Están separados por un pilar de 4m de espesor. Hay caserones normales al eje del túnel y otros oblicuos, según sea el manto.

El manto principal termina, por el oeste, en la profunda quebrada del río San Antonio que ha erosionado su continuación hacia el Sud-Oeste. Hacia el sur, junto con el término del túnel aparece la riolita, con-

tra la cual se acuña el manto mineralizado. Finalmente, al oriente del túnel el manto principal aumenta fuertemente su manto, por sobre los 25 grados y es un campo de reservas positivas futuras, hasta topar con la riolita que se haya a 100-200m al naciente del túnel.

Un segundo manto de unos 3m de potencial, se ha encontrado encima del principal, muy cerca de la superficie. Este sector se ha preparado para explotación a ciclo abierto, con un interesante tonelaje de reservas.

El equipo principal consiste en:

2 compresoras eléctricas Atlas Copco, de tornillo, de 630 piés<sup>3</sup> c/u.

Perforadoras Atlas Copco con patas neumáticas (comunes a las 3 minas).

3 wagon-drills Atlas Copco (comunes a construcción y caminos)

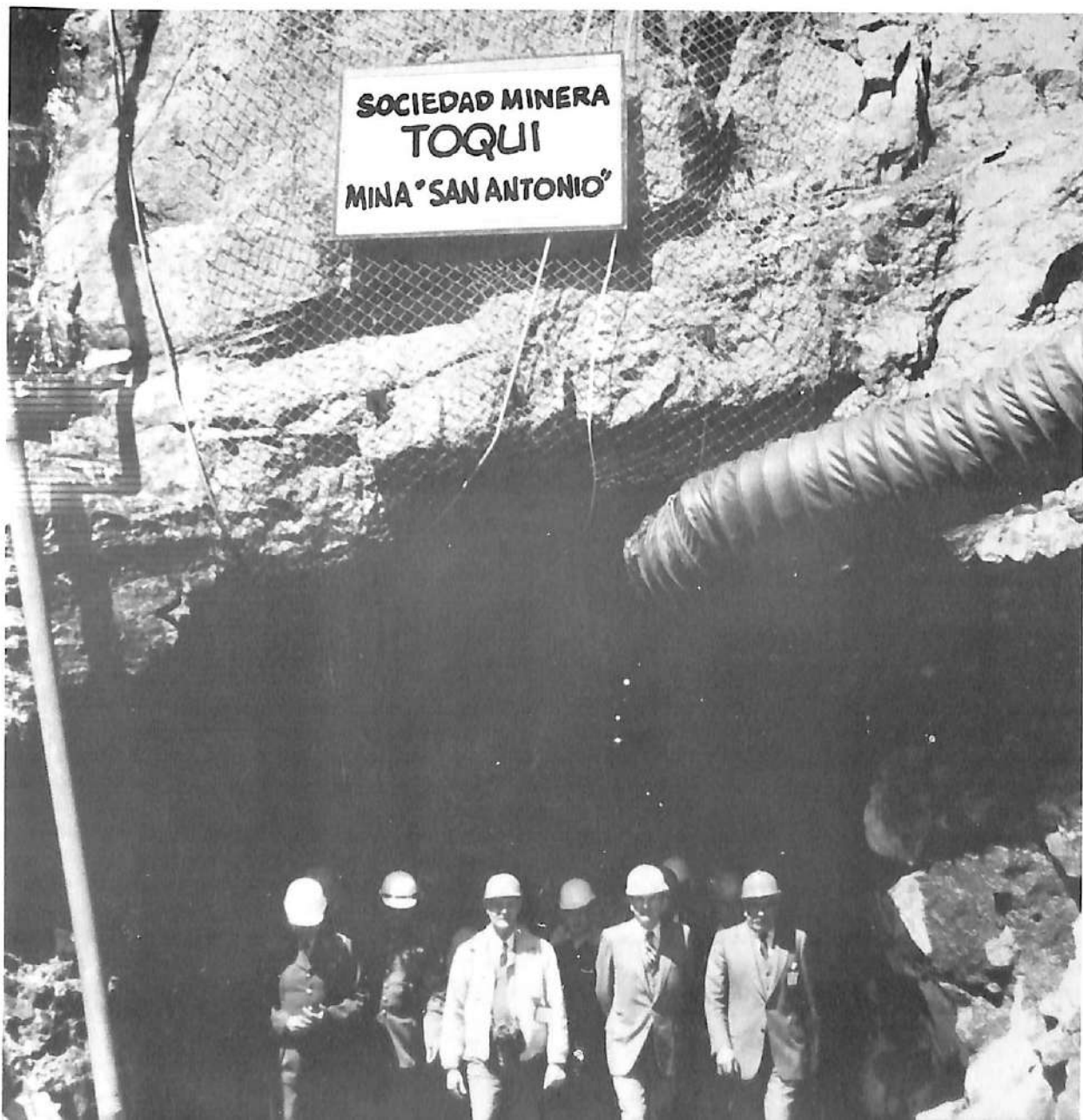
4 camiones Dumpers Volvo de 22 T.M. de carga c/u (comunes a las minas Zúñiga/Antofón, caminos y construcción).

3 cargadores frontales Volvo de 4 yardas cúbicas, Idem.

1 equipo L.H.D. -Toro D150 (para túneles piloto)

Esta mina está preparada para entregar unas (650/700 T.M. de mineral por día e hizo el fuerte del abastecimiento de la planta desde el inicio en octubre de 1983, hasta mediados de 1985, en que está siendo reemplazada por los excelentes minerales de Antofón y de Santa Teresa, de mayor valor por tonelada.

El manto de San Antonio tiene aún importantes reservas y, además —a juicio del autor— existente un extenso campo para explorar debajo del túnel —donde es posible teóricamente encontrar el "stock-work", rico en polimetálicos, que mineraliza los 2 mantos de San Antonio.



## desarrollos de ingeniería

### Mina Zúñiga-Antolín

La entrada a la mina Zúñiga es un túnel de 3x3m ubicado a cota 700m.s.n.m. Hay varios cientos de metros de galerías que seguían las "vetas" polimetálicas. La explotación se realiza por el sistema de "shrinkage stoping", con buzones laterales que descargan el mineral a dumpers automotrices, que llevan el mineral al exterior.

Esta mina contribuyó durante año y medio, con el 20-25% del abastecimiento de la planta de flotación.

El programa de reconocimientos del stock-work, hacia el poniente y, en cota más baja, 670m.s.n.m. condujo a poner en evidencia (lo que se suponía, a base de algunas indicaciones geológicas) una muy potente "veta" del cuerpo de Antolín, muy rica en Zn, Pb, Cd, Ag, Cu y con algo de Au.

Es por ello que el equipo humano y maquinarias se trasladaron de Zúñiga a Antolín.

Se proyectó un "shrinkage" mejorado y, tomando en cuenta que el cuerpo mineralizado sub-vertical alcanza potencias de hasta 20m.

Esta mina probablemente reemplazará en el 2º semestre de 1985 a San Antonio, como la principal abastecedora de la planta de flotación.

El equipo principal con que cuenta actualmente Antolín es:

2 compresoras eléctricas Atlas Copco, de tornillo, de 650 piés<sup>3</sup> de aire/min c/u

Perforadoras Atlas Copco, con patas neumáticas.

1 Equipo L.H.D.-Toro D150 para correr galerías.

2 Dumpers Schopf para transportar el mineral al exterior.

El sector Antolín-Zúñiga muestra un gran potencial de reservas:

1º Entre los túneles de ambas minas, 2º hacia al norte, 3º hacia el poniente de Antolín y 4º en profundidad.

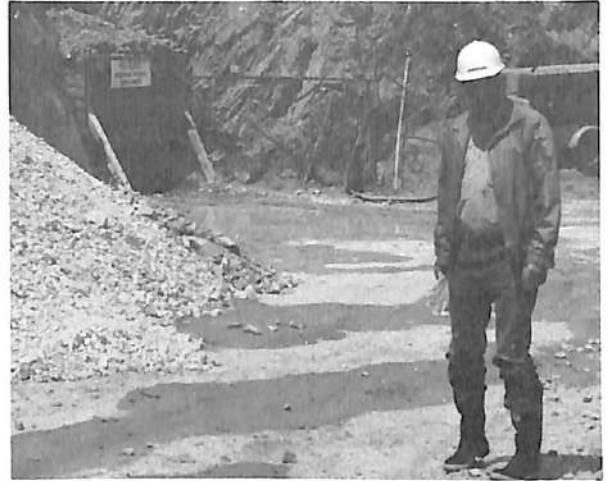
### Mina Santa Teresa

El cuerpo llamado Santa Teresa I se cortó mediante un túnel de 3x3m corrido a la cota 1.245m.s.n.m. y con un largo total de unos 220m, donde se ubicaron 2 clavos ricos en Au, Ag, Zn, Pb, Cd y Cu.

A la cota de 1.290 m.s.n.m. se abrió un "glory-hole", que se comunicó con el nivel principal, el que recibe el mineral explotado en el afloramiento. Un equipo L.H.D. Toro D150 carga el mineral y lo transporta al exterior.

En el cuerpo Santa Teresa I se han preparado 2 caserones, que se explotan en "shrinkage - stoping", con especial precaución dada la presencia de una potente salbanda.

En la cota 1.130 se está desarrollando otro rico clavo mineralizado, denominado Santa Teresa III que, a mediados de junio de 1985 tenía alrededor de 100m



*Entrada a la mina Santa Teresa I. Se observa el mineral (run of mine) acumulado en cancha, a la espera de ser bajado a la cota 800 m.s.n.m. donde está la planta de lavado y selección.*

de largo y potencias de hasta 5m. Aquí se seguirá el mismo sistema de explotación.

Por carecer de energía eléctrica en este sector (salvo pequeños grupos electrógenos) todos los equipos son diesel-eléctricos. Los principales son:

3 compresores de aire de 250 a 600 piés<sup>3</sup>

Perforadoras con patas neumáticas

1 equipo L.H.D. - Toro D150

2 Dumpers Schopf

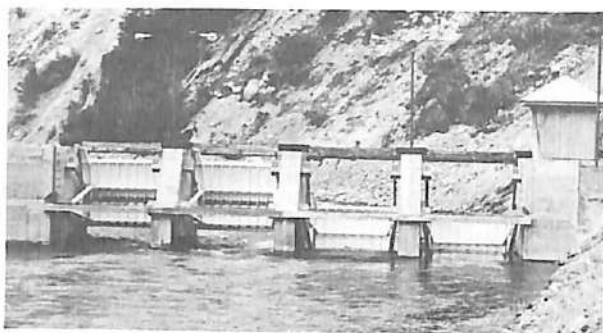
Como parte integrante de la operación de Santa Teresa opera en el campamento (cota 800 m.s.n.m.) una planta de lavado y selección. El mineral sale de la mina totalmente recubierto de arcilla blanca. Esta pequeña instalación permite, después de lavar, producir 2 productos: a) Mineral rico de embarque directo. (D. S.O.) y b) Mineral de concentración. El primero se carga a camión y viaja 180kms hasta el puerto de Chacabuco, para su exportación. El segundo va por camión, 95kms hasta la planta de flotación de Toqui.

### Energía

Las faenas del área de Toqui son abastecidas, en exceso, por una central hidroeléctrica de 3.100 k.V. A. ubicada en el río del mismo nombre y 10 Kms agua abajo de la planta de Flotación diferencial.

Una línea de alta tensión, de 13,5kms, 23K.V., 3 Ph, 50 Herz, en cables de aluminio, conduce la energía desde la central hidroeléctrica a 6 sub-estaciones, siendo la más pequeña de sólo 20K.V.A. (bocatoma) y la mayor de 1.500 K.V.A., correspondiente a la planta de Flotación. La postación es de madera de ciprés, salvo 2 torres de acero, para salvar un tramo aéreo de 400m.

La bocATOMA cuenta con 4 compuertas Taintor, que regulan manualmente la entrada del río Toqui al túnel (excavado en roca), de 3x3m, radier de hormi-

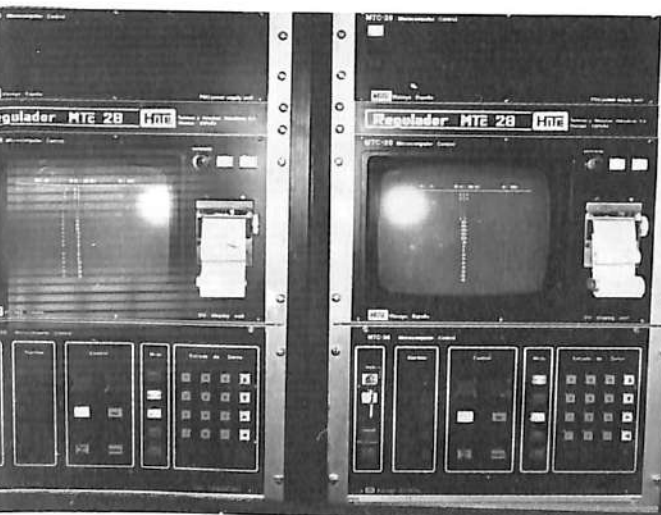


Compuertas Taintor sobre el río Toqui. La caseta contiene un sistema óleo-hidráulico que comanda las compuertas.

gón, longitud de 1.250m y pendiente de 0,22%. Un túnel lateral o "ventana", provisto de un vertedero permite botar el exceso de agua que no toman las turbinas. El túnel descarga su agua a una cámara de carga de 600m<sup>3</sup> de volúmen de agua.

Las características principales de la central son:

- Caída ..... 64m
- Diámetro ducto forzado ..... 1.300mm
- 2 turbinas Francis, marca HITE de 1.250 kw c/u  
1000 R.P.M.; 2,5m<sup>3</sup> de agua/seg cada una
- 2 alternadores INDAR de 1.550 K.V.A. c/u; 0,38 K.V., 3 fases, 50 Herz



2 reguladores de velocidad MTC-28 de HITE (microprocesadores)

1 tablero general ELDU  
2 sub-estaciones, interiores, ELDU de 1.550 K.V. A. c/u - 0,38/24 K.V.

1 tablero general de salida ELDU

La central está diseñada para conectarse a una futura red troncal de Endesa.

## La planta de Flotación Diferencial

Originalmente fue diseñada para moler y flotar

500 T.M. de mineral por día. Sucesivas mejoras operativas han llevado a la planta a beneficiar 650-700 T.M./día.

Se acompaña flow-sheet en hoja aparte. Una breve descripción es, como sigue:

### Galpón de Acopio

Es un edificio de acero, capaz de acumular —bajo techo— 6.000 T.M. de mineral. Allí opera un cargador frontal que llena 1 tolva de gruesos, con parrilla de 20" de separación.

### Planta de Chancado

Un alimentador "apron" alimenta una chancadora de mandíbula blake de 600x900mm Bergeaud (Francia).

Una cinta transportadora de 800mm lleva el mineral a -4" a 1 giratorio Symons standard de 4 1/4 piés; la descarga a -3/4" va a un segundo cono Symons, cabeza corta de 4 piés. La descarga es llevada en una cinta de 600mm a 1 harnero vibratorio de doble cubierta de 5'x8'. El producto -6mm va a la tolva de finos. El producto +6mm retorna al cono terciario.

La capacidad nominal del chancado es 100 Tons/hora. Todo el equipo de la planta de chancado, tanto mecánico, como eléctrico es francés, incluso el edificio de acero.

La tolva de finos tiene una capacidad de almacenamiento de 1.250 T.M. de mineral molido. Por debajo se descarga mediante 4 alimentadores electro-magnéticos a 2 cintas de 500mm, que corresponden a 2 circuitos independientes de molienda. Las cintas llevan pesómetros integradores Ramsay.

Se cuenta con 2 molinos de bolas Humboldt de 8'x8', revestimiento de goma, overflow. Se usan bolas entre 2 1/2" y 4", Molicop, Armco-Chile, de alta eficiencia económica de molienda. Hay un tercer molino Humboldt de 4'x8' que se instaló originalmente para remoler concentrados. La práctica demostró que no era necesario, por lo cual se destinó, también, como molienda primaria.

### Molienda húmeda

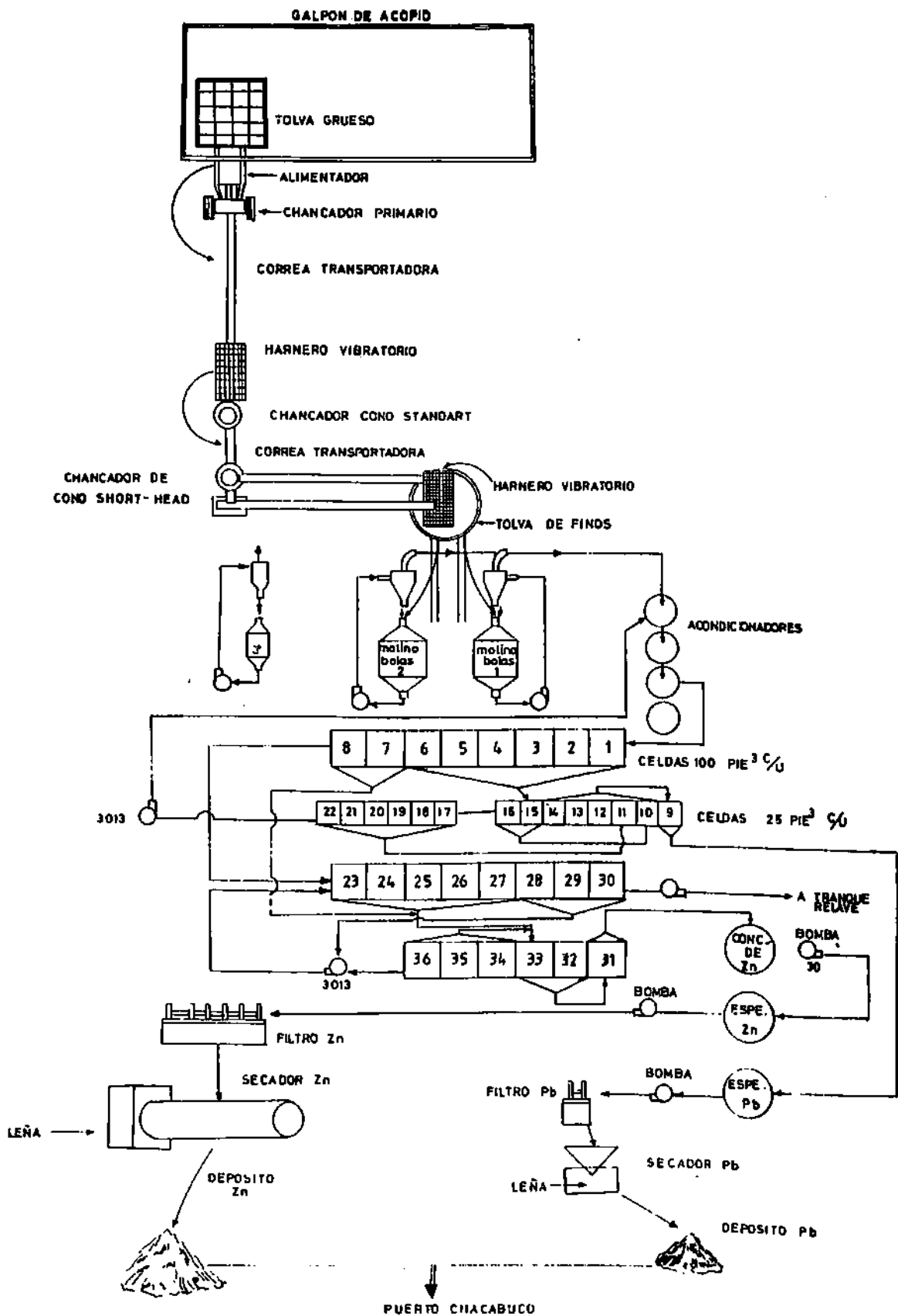
El rendimiento de chancado y molienda varía considerablemente, debido a la gran diferencia en el índice de Bond, entre el mineral de San Antonio (18-19), el de Zúñiga-Antolín (12-13) y el de Santa Teresa (10).

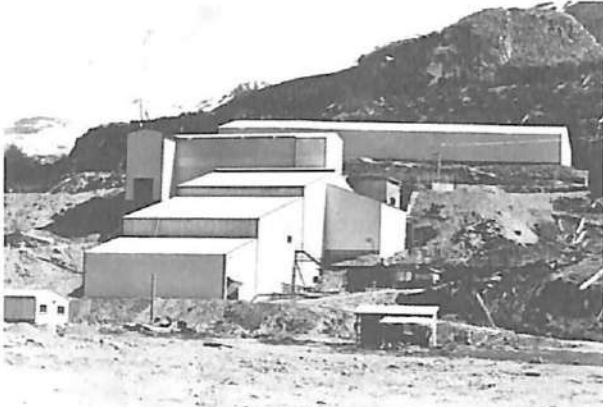
La pulpa con 70% de sólidos pasa por los ciclones AKW de 250mm. El rebalse (60%-200 mallas Tyler) va a la flotación y la descarga del ciclón, regresa al molino.

Para llevar a la máxima eficiencia el rendimiento de los molinos Humboldt el autor tenía previsto instalar un P.S.M. 400. \*

\* Instrumento de ARMCO para la optimización de densidad de pulpa y granulometría de la molienda húmeda.

# desarrollos de ingeniería





*Planta de Flotación. A la derecha se observan los espesadores. A la izquierda, abajo, el Laboratorio Químico y Metalúrgico.*

### Flotación

Se cuentan con 4 acondicionadores Denver de 4', que se eliminaron, pues el mineral no requiere mayor tiempo de acondicionamiento, que el que le dan las celdas de flotación.

Hay 6 celdas Denver Sub-A N° 30 de 100 piés<sup>3</sup> c/u, que producen el concentrado de desbaste (rougher) y 14 celdas Denver Sub-A N° 18 de 25 piés<sup>3</sup> c/u, que actúan de limpieza. La última celda entrega el concentrado final de Pb(78% - 81% + 900 a 1000 grs Ag/T), que descarga al espesador de Pb ubicado a la intemperie.

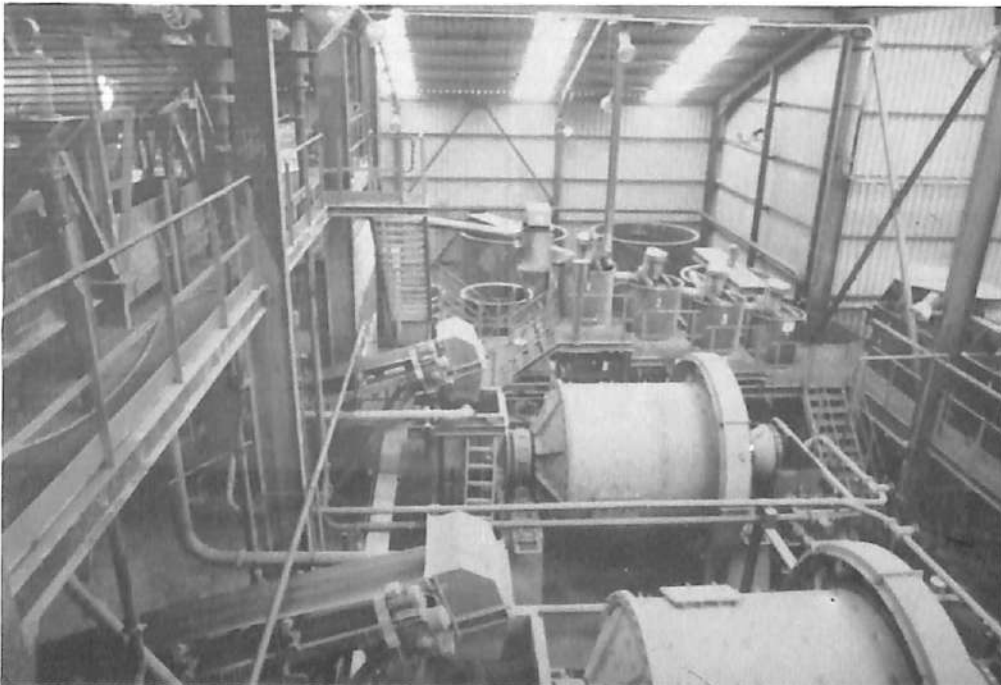
Al molino se han agregado los siguientes reactivos: KAX - Na<sub>2</sub> CO<sub>3</sub> - MIBC - ZnSO<sub>4</sub> y NaCN.

También se ha usado Thiocar-banilida y espumante 1012. El ZnSO<sub>4</sub> y NaCN son fuertes depresores de marmatita y blenda. Con ello se produce una muy clara flotación de la galena en las 6 primeras celdas Denver N° 30.

Para activar los minerales de Zn se usa CuSO<sub>4</sub>, que se agrega a las celdas 7 y 8 del flowsheet. Luego hay 14 celdas Denver N° 30 para la flotación del Zn. Las 8 primeras actúan como celdas de desbaste y las 6 últimas para limpieza y relimpieza del Zn. La celda N° 31 descarga el concentrado final (50 - 56% de Zn) al espesador de Zn.



*La primera celda, derecha es la N° 6, correspondiente a Pb. Las 2 últimas, celdas N° 7 y 8 producen concentrado de Zn.*



*Sala de molinos de 8'x8'. Arriba, a la izquierda, se observan los ciclones AKW y, al fondo, la planta de preparación de reactivos de flotación. A la derecha alcanzan a aparecer las primeras celdas de flotación de Pb.*

## desarrollos de ingeniería

### Espesadores y filtros

Hay 3 Dorr-Oliver; para el Zn de 12m de diámetro. Para el Pb es de 10m de diámetros y un tercero —de alternativa— de 5m de diámetro.

La pulpa, con densidad de 40 - 50% de sólidos se bombea, mediante bombas neumáticas, a 2 filtros de discos Eimco. El filtro de 6x6' es para concentrados de Zn y entrega una humedad de 13-14%. El filtro de 2x6' se destina al Pb y entrega un producto algo más seco: 11-12% de agua.

### Secadores y carguío de concentrados

El concentrado de Zn se alimenta a un secador rotativo ANIVI de 1,8x8m, de acero inoxidable; el combustible es leña, muy abundante en la zona. Un pirómetro electrónico permite controlar la temperatura de los gases, de modo que el concentrado salga del secador con 7-8% de agua humedad ideal (para evitar pérdida de finos). Un sistema de cintas transportadoras lleva este concentrado a 4 tolvas elevadas de acero, cada una con capacidad para 20T. húmedas de concentrado de Zn. Un sistema de compuertas horizontales permite descargar el concentrado a los camiones

de 15 Tons., que se colocan debajo y se encarpan y parten a Chacabuco, 116 Kms al Sur. Este secador puede entregar 120 T.M. de concentrados (con 8% de H<sub>2</sub>O), en 24 horas.

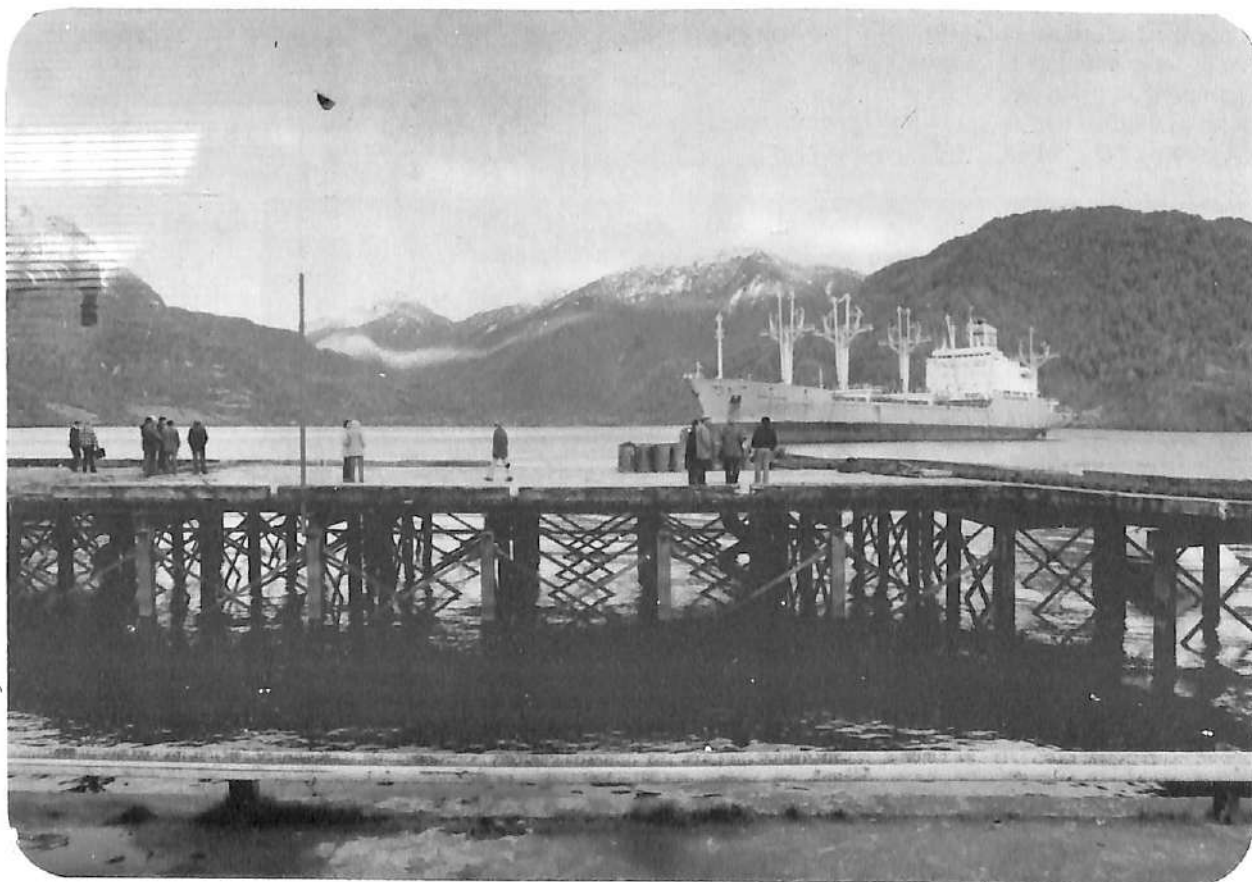
El concentrado de Pb se alimenta a un secador rotatorio de plato, de 3m de diámetro. Por debajo está el fogón a leña. Un deflector de acero, hace que el concentrado seco (6-7% de humedad) caiga a una cancha de hormigón, capaz de almacenar 1.000 T.M. de concentrado de Pb. De ahí se carga a camión, mediante 1 cargador frontal.

### Producción de concentrados en 1984

De Zn: 23.260 T.M. secas, de Pb: 2.520 T.M. secas. El programa para 1985 considera superar la producción de 36.000 T.M. de concentrados.

**Puerto de Chacabuco.** En mayo de 1984 arribó el "Sissilli River" de 16000 D.w.t. que hizo el primer embarque de 5.500 T.M. de concentrado de Zn a Japón.

*Se observa el muelle del profundo canal de Chacabuco. A la extrema izquierda se nota la punta de la correa transportadora, para cargar los concentrados directamente a las bodegas del buque.*





# LIXIVIACION T.L.: Aplicaciones en la Pequeña Minería de Atacama.



*Ing. Esteban Domic M.  
Gerente Ingeniería y Desarrollo, Cía. Min. Pudahuel  
Prof. Jornada Parcial Depto. de Metalurgia U. de Atacama*

## ORIGEN DEL DESARROLLO TECNOLÓGICO

Cuando la Sociedad Minera Pudahuel Ltda. (SMP), intentó poner en producción el yacimiento de Lo Aguirre (primero en 1969 y luego en 1975), se encontró frente a un grave desafío metalúrgico debido a la variabilidad de sus especies minerales. El contenido de cobre total alcanzaba a 2% y su tonelaje era apropiado para sostener una operación de tamaño mediano. Sin embargo, al inicio de la explotación se esperaba un predominio de especies oxidadas, las que con el tiempo darían paso a sulfuros secundarios para terminar en los últimos años de explotación con un predominio de estos últimos. Todo esto ocurriría en unos 12 años de operación, por lo que la alternativa convencional disponible de hacer dos plantas (una de lixiviación para los oxidados y otra de flotación para los sulfurados) resultaba económicamente marginal.

Dado que los óxidos serían tratados primero, SMP decidió iniciar los estudios para su recuperación por la vía: lixiviación, extracción por solventes y electrodeposición.

Los métodos más conocidos de lixiviación de minerales oxidados de cobre son:

- lixiviación en botaderos (dump leaching),
- lixiviación en pilas (heap leaching),
- lixiviación por percolación (vat leaching), y
- lixiviación por agitación.

Las principales características de estos sistemas se

resumen en la Tabla 1. Como alternativa a estos sistemas tradicionales, se decidió explorar una nueva técnica que prometía altas recuperaciones asociadas a inversiones más bajas. Esta técnica, denominada Lixiviación T.L. ("thin layer" leaching), difiere de las anteriores en que el mineral es chancado fino, pero sin llegar a requerir de molienda húmeda, es aglomerado con ácido previo a la lixiviación, es dejado reposar para curar el mineral y, finalmente, es lixiviado en canchas de baja altura (capas delgadas = thin layer).

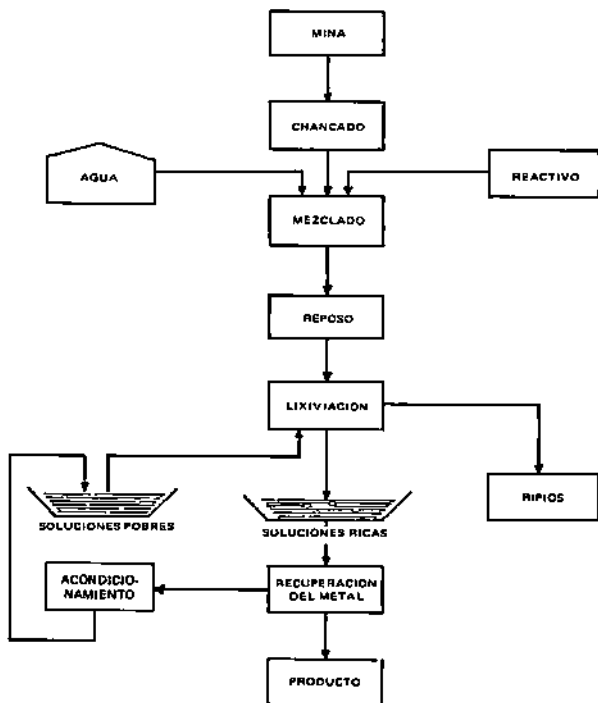
Después de varios años de estudio en Laboratorio y Planta Piloto, SMP adoptó y mejoró la potencialidad de dicha técnica de lixiviación para lograr finalmente:

- mantener una inversión baja, similar a la requerida por el sistema convencional de percolación;
- obtener altas recuperaciones de las especies oxidadas, similares, y mejores en algunos casos, al mejor de los sistemas convencionales (agitación);
- obtener recuperaciones considerables de las especies sulfuradas secundarias, en competencia con las obtenidas en el proceso convencional de flotación, pero en la misma operación en que se procesan los oxidados.

Como conclusión de todo lo anterior, se construyó la planta de Lo Aguirre, que entró en operación comercial a fines de 1980, procesando minerales oxidados y sulfurados en la misma planta de Lixiviación T.L.

Figura N° 1

DIAGRAMA DE FLUJOS ESQUEMATICO DE LA LIXIVIACION T.L. APLICADA A CUALQUIER METAL



## LA LIXIVIACION T.L.

Un diagrama de flujos simplificado, para el Proceso de Lixiviación T.L., se presenta en la Figura N° 1. La etapa de recuperación del metal, en el caso del cobre, puede ser precipitación con chatarra de hierro, o bien extracción por solventes seguida de electrodeposición (SX-EW), u otro sistema alternativo.

Básicamente la Lixiviación T.L. consiste en la combinación de dos conceptos principales, con una serie de variables. Los dos conceptos principales son:

- **Curado:** consiste en el ataque con ácido sulfúrico, preferencia concentrado, sobre el mineral previamente chancado y humedecido, seguido por un período de reposo o "curado".

- **Lixiviación:** la lixiviación propiamente tal es efectuada por aspersión de soluciones ácidas diluidas sobre el mineral previamente "curado".

Entre las variables a estos conceptos básicos se encuentran:

- la granulometría del mineral;
- la dosificación de agua y ácido en el curado;
- el grado de aglomeración de los finos durante el curado y el consecuente aumento de permeabilidad y altura del lecho de mineral;
- el contenido de agentes lixiviantes activos en las soluciones y su subsecuente regeneración;

- el ritmo de regado de soluciones;
- la duración de los ciclos de lixiviación y
- otros, de menor importancia.

Precisamente, optimizando algunas de estas variables, se logró aumentar las expectativas del proceso hacia la óptima recuperación de los contenidos oxidados del mineral y hacia la lixiviación de los sulfuros secundarios.

La forma específica en que se aplica el proceso de lixiviación T.L. varía de un mineral a otro y también se adecúa a la forma en que se desean recuperar los contenidos metálicos desde las soluciones de lixiviación. Sus aplicaciones no están restringidas sólo a cobre sino que también se han obtenido buenos resultados en el tratamiento de minerales de uranio, oro, plata, zinc y , en general, en cualquier metal que se pueda tratar económicamente por lixiviación.

La selección de las condiciones de operación adecuadas para cada tipo de mineral normalmente se ejecuta en pruebas preliminares de sólo algunos kilos de mineral. Se continúa con pruebas en columnas de 30 cm de diámetro que ocupan entre 250 y 500 kg de mineral cada una, pero que entregan información con un alto nivel de confianza, adecuado para su posterior escalamiento. Trabajando a este nivel, se puede optimizar variables hasta llegar a un rango más estrecho en que se justifiquen algunas pruebas confirmatorias en Planta Piloto, siempre que la envergadura del proyecto aconseje este escalamiento adicional. Cada prueba a nivel Piloto requiere de unas 20 TM de mineral, por lo que es deseable realizarlas sólo en el caso de grandes inversiones y en el momento en que el Proyecto esté entrando a sus etapas de diseño e ingeniería. Normalmente las pruebas en columnas pueden dar resultados que, planificados y procesados adecuadamente, proporcionan información altamente confiable.

## OPERACION COMERCIAL

Si bien la Lixiviación T.L. fue originalmente patentada en 1975 por la firma Holmes and Narver, Inc., de California, la forma perfeccionada en que hoy se la aplica comercialmente fue desarrollada por la Sociedad Minera Pudahuel en Chile. Estos procedimientos son los que permitieron hacer operable al proceso, haciéndolo más eficiente, al punto de lograr recuperar no solamente los óxidos sino también los sulfuros secundarios. Por estas modificaciones, SMP logró compartir la propiedad de la tecnología, suscribiendo acuerdos en ese sentido con firma norteamericana antes señalada. Patentes adicionales fueron concedidas a SMP en 1981. A fines de 1982, Bechtel, de San Francisco, California, adquirió los derechos de H&N en las referidas patentes y sus acuerdos de comercialización

vigentes con Pudahuel.

Desde noviembre de 1980, opera a plena capacidad (16.500 TM Cu/año) la División Lo Aguirre de SMP, produciendo cátodos de alta pureza mediante el sistema de lixiviación T.L., unido a los ya conocidos de extracción por solventes y electrodeposición (SX-EW). Cabe indicar que en Chile esta es hasta hoy la única operación comercial de SX-EW.

Por otra parte, la División La Cascada de SMP, formaba a través de la compra de los activos de la ex-Minera Sagasca (a mediados de 1980), fue sometida a una serie de modificaciones en su circuito de lixiviación por percolación transformándolos al sistema T.L. Se mantuvo el circuito de recuperación con chatarra de fierro produciendo cementos de cobre. Con estas modificaciones de la lixiviación, el nivel de tratamiento de mineral oxidado, en la misma planta, aumentó

desde un máximo histórico de 12 a 13.000 TM Cu fino/año, a un nuevo nivel de alrededor de 23.000 TM/año. Estas modificaciones han estado en operación desde marzo de 1981.

## APLICACION EN CHAÑARAL

En mayo de 1984, el Comité Provincial Minero de Chañaral, presidido por el Sr. Gobernador y por el Sr. Secretario Regional Ministerial de Minería y compuesto por las Asociaciones Mineras de Diego de Almagro, El Salado y Chañaral, presentó al Sr. Intendente de Atacama un Proyecto de Transferencia Tecnológica destinado a activar la deprimida Minería de la Provincia de Chañaral, mediante el empleo de las técnicas desarrolladas por la Sociedad Minera Pudahuel Ltda.

El Sr. Intendente de Atacama hizo suyo este plan-

**Tabla N° 1**  
**METODOS CORRIENTES DE LIXIVIACION DE MINERALES**

Rangos de Aplicación y Resultados	Métodos de Lixiviación			
	En Botaderos	En Pilas	Percolación	Agitación
Ley del mineral	baja ley	baja - media	media - alta	alta ley
Tonelaje	grande	gran a mediano	amplio rango	amplio rango
Inversión	mínima	media	media a alta	alta
Granulometría	corrido de mina	chancado grueso	chancado medio	molienda húmeda
Recuperaciones típicas	40 a 50%	50 a 70%	70 a 80%	80 a 90%
Tiempo de tratamiento	varios años	varias semanas	varios días	horas
Calidad de soluciones	diluidas (1-2 gpl Cu)	diluidas (1-2 gpl Cu)	concentradas (20-40 gpl Cu)	medianas (5-15 gpl Cu)
Problemas principales en aplicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- recuperación incompleta,</li> <li>- reprecipitación de Fe y Cu,</li> <li>- canalizaciones,</li> <li>- evaporación,</li> <li>- pérdida de soluciones,</li> <li>- soluciones muy diluidas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- recuperación incompleta,</li> <li>- requiere de grandes áreas,</li> <li>- canalizaciones,</li> <li>- reprecipitaciones,</li> <li>- evaporación,</li> <li>- soluciones muy diluidas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bloqueo por finos,</li> <li>- requiere de más inversión,</li> <li>- manejo de materiales,</li> <li>- necesidades de mayor control en la planta,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- molienda,</li> <li>- lavado en contracorriente,</li> <li>- tranque de relaves,</li> <li>- inversión muy alta,</li> <li>- requiere abundante agua,</li> <li>- control de la planta es más sofisticado.</li> </ul>

teamiento, el que fué acogido favorablemente por el Supremo Gobierno, quién, a su vez ordenó se ejecutara en sus etapas iniciales bajo la tuición del Ministerio de Minería y con el patrocinio de la Corporación de Fomento de la Producción.

En junio de 1984, la Sociedad Minera Pudahuel Ltda. acogió favorablemente la solicitud de Transferencia Tecnológica planteada por la Autoridad Regional, en atención al gran interés social de dicha iniciativa. Más aún, junto con aceptar el traslado y operación de su Planta Piloto a Diego de Almagro, Pudahuel concedió una licencia de USO LIBRE DE REGALIAS para las tecnologías de su propiedad. Dicha licencia, unida a la necesaria asistencia técnica de los profesionales de Pudahuel, será aplicada a la futura planta industrial que se construya a partir de este Estudio.

En octubre de 1984, la CORFO, a través de IN-TEC, firmó un contrato con la Sociedad Minera Pudahuel Ltda. Para que está trasladara, montara y operara una Planta Piloto, la que incluiría todas las etapas del procesamiento metalúrgico para minerales oxidados de baja ley y que concluía en la producción de cátodos de cobre electrolítico de alta pureza, según las tecnologías modernas patentadas por dicha Empresa y en uso exitoso en sus operaciones de Lo Aguirre, cerca de Santiago.

El proyecto se desarrolló inicialmente en 2 etapas:

### 1ª Etapa:

- experimentación metalúrgica ( 1 mes )
- traslado, montaje y operación de una Planta Piloto de 3 toneladas de mineral, para fines demostrativos y de confirmación metalúrgica. ( 3 meses )

### 2ª Etapa:

- evaluación técnico- económica y de impacto social del Proyecto. ( 4 meses )

La primera etapa se cumplió entre octubre de 1984 y febrero de 1985, período en el cual SMP procesó cerca de 300 toneladas de minerales de la zona de atracción de la futura planta, es decir de Chañaral, El Salado y Diego de Almagro. Los resultados fueron excelentes, procesándose con buenos rendimientos minerales de hasta 0,8%, como límite inferior, y de cerca de 2,5% como límite superior.

La segunda etapa no fué realizada por SMP propiamente tal, sino que por el personal técnico de esa Empresa, expresamente autorizado para ello. Esta etapa se completó entre diciembre de 1984 y mayo de 1985, concretándose en la entrega del informe de Factibilidad Técnica y Evaluación Económica Privada y Social, efectuado el 15 de mayo de 1985.

Si bien los detalles de dicho estudio corresponden

ser divulgados sólo por el patrocinante, es decir CORFO, en términos generales se puede indicar que sus resultados fueron altamente satisfactorios por cuanto se cumplieron ampliamente las expectativas iniciales. En efecto, por analogía con las experiencias anteriores de SMP era esperable que el proyecto fuese viable para unas 500 toneladas diarias de mineral de 2% de oxidados de cobre como promedio (desde 1% y hasta 3%). Las inversiones resultarían ser similares a las de SMP, es decir del orden de 2.200 US\$/ton de Cu fino año, lo que da un total de unos 6,8 millones de dólares; financiables con los créditos internacionales (tipo BID-CORFO) en términos de requerir sólo 1 millón de pié y las cuotas podrían pagarse con el propio flujo de caja del Proyecto. A su vez los costos de operación, no financieros, darían un valor inferior a los 30 centavos de dólar por libra, a semejanza de Lo Aguirre pero usando la realidad de Atacama. Con esto y asumiendo las condiciones de pago de un crédito como el indicado, sería factible comprar minerales de hasta 1%, pagando tarifas que, en el caso de un mineral de 3% (similar al límite inferior de leyes que se compran en las plantas actuales de ENAMI) resultan ser superiores al doble de las actuales.

Sin duda que resultados como los que se indican impulsarán a un desarrollo cabal de la pequeña minería de Chañaral.

## APLICACION EN OTROS LUGARES

Alentados por los resultados que se iban conociendo del proyecto Chañaral, las Asociaciones Mineras de otras zonas del país vieron con interés la posibilidad de efectuar el mismo tipo de estudio de Factibilidad, en su respectiva zona.

Es así como las Asociaciones de la Provincia del Huasco llevan grandes adelantos en términos de lograr patrocinio a su iniciativa de integrar el proceso T.L. a la Planta Regional de Vallenar, para lo cual, un pilar de fundamental apoyo lo constituye la ENAMI. Dicha Empresa está viendo en esta alternativa metalúrgica una vía de modernización de sus plantas existentes, que bien podría extenderse a otros lugares, tales como Taltal, Antofagasta, Calama, La Serena, Combarbalá, etc.

El futuro se convierte en promisor cuando se vislumbran alternativas como la presente, que alejan del hombre las inquietudes por influir en el valor internacional de su producto, centrándolo en algo más tangible y real como es la eficiencia operativa o la baja de costos que indesmentiblemente, el T.L. puede aportar como solución actual y concreta a los problemas de la Pequeña Minería Nacional. Cuando por añadidura los mejores precios se hagan realidad, tal vez, entonces presenciaremos una bonanza a la que quienes hoy tuvieron fé tendrán sobrado derecho a disfrutar.

# ROBOT E INTELIGENCIA ARTIFICIAL



*Profesora Felisa Córdova,  
Doctora en informática y cibernética.  
Profesor visitante U.D.A.*

## 1.- INTRODUCCION

La robótica e inteligencia artificial ha tomado auge solo en esta última década, más bien esto ha sido fuertemente desarrollado a partir de los 80.

Los avances técnicos, tanto en el hardware de los computadores así como la estructuración del software ha permitido llegar a implementar dispositivos llamados Robot capaces de reemplazar ya no sólo el músculo del hombre, sino también su capacidad de decisión por el momento en un ámbito limitado.

Al dotar a un manipulador de elementos de visión, audición y síntesis de voz y otros dispositivos que le permiten auscultar el medio en que se desempeña, fue necesaria la introducción de un computador o procesador que coordinara estas capacidades (visión, voz, movimiento y señales de otros sensores). En un comienzo estas acciones eran coordinadas por el árbol de decisiones que el programador podía prever o que era capaz de realizar. Los programas se fueron haciendo más complejos, requiriendo cada vez un poder de decisión mayor y capacidad de autonomía (que fuera adquiriendo mayor conocimiento por sí mismo y a partir del conocimiento del medio fuera éste incorporado como aprendizaje). Por otra parte, la visión y otros elementos con que puede ser dotado un robot adquiere su propio desarrollo y en la actualidad existen variadas técnicas de reconocimiento, procesamiento y síntesis de imágenes. El aumento del hardware y software en los procesos deductivos y toma de decisiones por parte del sistema y la gran capacidad de memoria necesaria para el almacenamiento y procesamiento visual, tanto como el procesamiento en tiem-

po real hicieron el requerimiento de 2 cosas fundamentalmente. Por una parte, computadores de gran capacidad de almacenamiento, alta velocidad de procesamiento y un software capaz de producir comandos ejecutables por el robot. Como respuesta a estos requerimientos aparecen los **computadores de quinta generación**, los cuales satisfacen las características requeridas, con lenguajes de alto nivel provisto de instrucciones lógicas que pueden realizar procesos de inducción, deducción, generar reglas a partir de reglas dadas y tomar decisiones.

La segunda cosa fundamental fue la organización de los conocimientos adquiridos en la llamada **Inteligencia Artificial**, en la cual ya no sólo tienen tribuna los científicos sino también los humanistas, psicólogos, sociólogos, lingüistas, ya que no sólo se trata de realizar estructuras lógicas, sino que se trata de esclarecer como el cerebro humano se comporta y trabaja para realizar una acción inteligente.

Finalmente, podríamos decir algunas palabras que definan lo que es un Robot y lo que es inteligencia artificial.

Un robot se define como una máquina que funciona bajo su propio control y potencia, luego de asignársele una tarea, sin que exista en ese momento intervención del ser humano.

El Robot Institut of America (RIA) define al robot como un "manipulador reprogramable y funcional diseñado para mover materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales, a través de movimientos variables programados para la ejecución de una cierta variedad de tareas".

En cualquier caso, un robot debe poseer características de autonomía, adaptabilidad, versatilidad y

una cierta capacidad de aprendizaje para acometer las tareas que le han sido asignadas.

La inteligencia Artificial es a menudo definida como la ciencia que dota a un computador de hacer razonamientos, emitir juicios y aún aprender.

## 2.- HISTORIA

En el siglo XVIII, en Europa nació un interés creciente por los autómatas accionadas por mecanismos de relojería, que consistían en figuras humanas o de animales que imitaban actividades familiares al hombre. Se construyeron figuras humanas que tocaban instrumentos musicales o escribían cartas y figuras de animales, entre ellas un pato mecánico que bebía agua, se zambullía en ella y graznaba.

Otros autómatas eran controlados por clavijas insertas en cilindros giratorios, que accionaban mecanismos para dar movimiento a las figuras. Se trataba de primitivas ROM que almacenaban las acciones que debía efectuar la figura. Para modificar esas acciones, se cambiaba el cilindro original por otro que tenía sus ranuras en diferentes posiciones. No existía la posibilidad de reprogramación del autómata, sino el cambio a un nuevo programa con el reemplazo de cilindro. Sin embargo, se encuentra aquí por primera vez la noción de programa almacenado, que data del siglo XIX.

En este contexto nació la famosa y fraudulenta máquina del Barón Von Kempelen, para jugar ajedrez. Esta máquina representaba un autómata ajedrecista que era accionado mecánicamente para mover las piezas en el tablero. Obviamente el autómata era guiado por un verdadero ajedrecista. Ya en nuestro siglo XX, los elementos mecánicos fueron reemplazados por otros eléctricos y los clavijeros por potenciómetros, que ajustaban los movimientos, naciendo con ellos la realimentación de los manipuladores y el uso de los sensores.

Más tarde, los manipuladores aumentaron en complejidad y el robot fue guiado hacia las acciones deseadas por el operador, para aprenderlas, almacenando dichas posiciones en una memoria interna. Este podía luego repartir esas acciones "aprendidas", tantas veces como fuera necesario.

Con el uso del computador, los robots invadieron la industria. El gran volumen de operaciones de cálculo se tradujo en una mayor complejidad y especialización de sus funciones; también la tendencia del uso de computadores monoprocesadores permitió un control centralizado del robot y se adquirió el concepto de software de base y usuario.

En estas últimas décadas, los microprocesadores revolucionan el campo de la robótica, permitiendo cada vez una mayor descentralización de las actividades del robot y su control. A su vez, le han dado mayor

versatilidad de operaciones y rapidez en configuraciones de multiprocesadores y procesadores en paralelo, tendencia de hoy.

## 3.- DISCIPLINAS DE LA ROBOTICA

La robótica en sí, es el campo científico tecnológico que agrupa ciencias, disciplinas y tecnologías que permiten realizar y manipular un sistema "Robot".

Para esto concurren diversas ciencias y disciplinas, algunas de estas en nuestros días están plenamente desarrolladas. De estas podemos citar la Mecánica, la Automática, Sistemas Digitales, Informática y otras. Pero hay otras que se encuentran en nuestros días aún en la etapa de desarrollo y estas son Reconocimiento de Patrones, Tratamiento de Imágenes, Síntesis y Análisis de voz y quizás la más importante de todas, la Inteligencia Artificial con sus mecanismos de comprensión, interpretación y aprendizaje. A nivel mundial se está estudiando y ahondando vigorosamente. Los resultados que se alcancen probablemente nos traerán en un futuro próximo, cambios en nuestra forma de pensar y de vivir que no hemos ni siquiera vislumbrado.

## 4.- FUNCIONES BASICAS DE UN ROBOT

Un robot debe ser capaz de realizar un cierto número de acciones, entre ellas:

4.1.- Percepción de su medio ambiente, para lo cual cuenta con órganos sensores que le permiten simular las percepciones visuales, auditivas, táctiles y de fuerza fundamentalmente y otras como temperatura y presión.

La percepción visual es lograda con sensores ultrasónicos, sonares o cámaras de televisión que le permiten captar una imagen del medio que lo circunda.

La percepción auditiva se realiza por medio de analizadores de voz, que identifican comandos audibles y los traducen a un lenguaje comprensible por el computador.

Existen además los sensores de tacto y fuerza que permiten ambas percepciones.

4.2.- Respuesta frente al medio ambiente, en base a un objetivo a satisfacer. Esta respuesta se realiza con ayuda de efectores o manipuladores, entre ellos brazos mecánicos articulados dotados de manos y tenazas; mecanismos motores que permiten el desplazamiento del robot, sintetizadores de voz para respuesta audible y cámaras de televisión que direccionan la acción del robot.

La Figura 1 muestra tres tipos de manipuladores: el de Cincinnati Milacron T3, el UNIMATION Puma 600 y el de Stanford, con sus diferentes posibilidades de movimientos y grados de libertad.

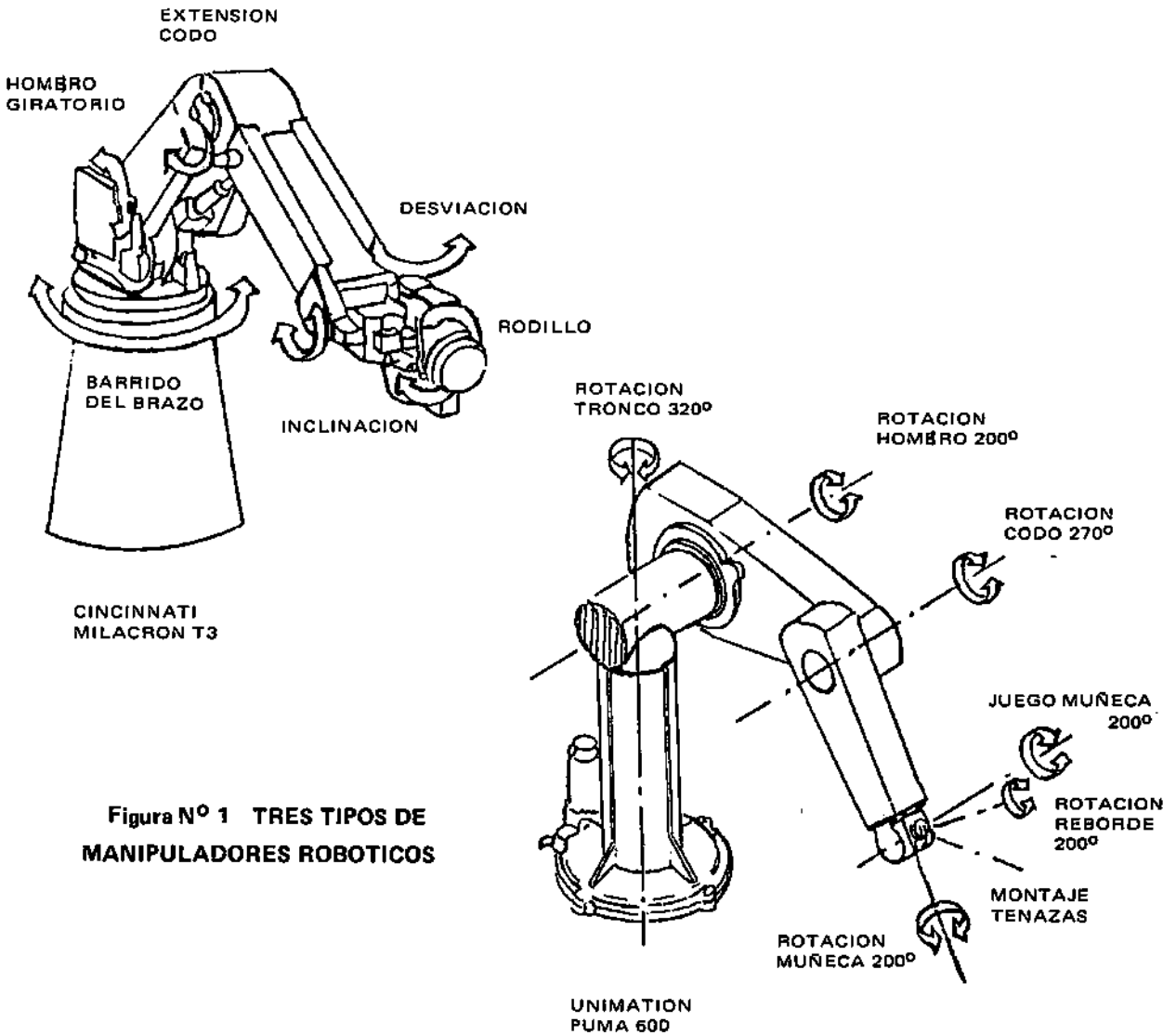


Figura N° 1 TRES TIPOS DE MANIPULADORES ROBOTICOS

MANIPULADOR DE STANFORD

4.3.- Control de sus sistemas internos y externos. Esta función es realizada por medio de procesadores que regulan el funcionamiento de los diferentes motores, transductores y dispositivos que permiten la autonomía de operación del robot.

4.4.- Capacidad de sincronizar acción y percepción para modificar su medio ambiente. Esta tarea supone un almacenamiento previo y clasificación de objetos en escenas tridimensionales que representan el medio que circunda al robot. Además supone una organización del sistema robot que permita una adecuada toma de decisiones para cumplir sus objetivos fijados, considerando los cambios que se producen en el medio. Especial importancia adquieren los métodos que permiten obtener precisión y fineza en operaciones de movimiento y fuerza.

Para realizar todas estas funciones el robot se sirve de sistemas en base a computadores, que poseen bases de datos para almacenar y clasificar escenas y de software dedicado o de alto nivel que facilita un conjunto de comandos representativos de los movimientos del robot. Estas instrucciones básicas permiten configurar complejos movimientos en simple programas del usuario.

## 5.- PROBLEMATICA DE LOS MANIPULADORES

Los efectores o manipuladores juegan un papel importante en la robótica, ya que permiten las acciones directas sobre el medio ambiente en base a ciertos objetivos fijados por el usuario del sistema. Sus problemas de diseño asociado revisten una cierta complejidad matemática que trataremos de simplificar. Entre ellos, el posicionamiento, los diferentes grados de libertad, la velocidad y torque.

Se hará énfasis en una aplicación práctica del manipulador de Stanford, que ha servido de modelo para muchos de los robots que actualmente funcionan en la industria.

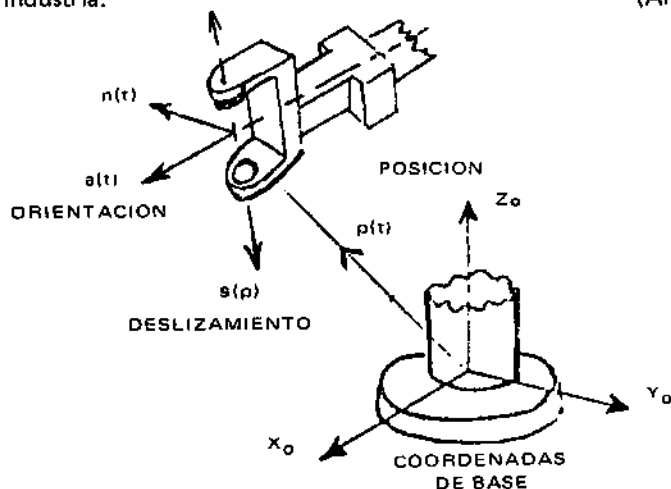


Figura Nº 2 ORIENTACION Y POSICION Y ANGULOS DE EULER

## 5.1.- Posicionamiento

Para que el robot tome o lleve una cierta pieza a un punto determinado, debe tenerse en cuenta la orientación de la tenaza y la posición de esta respecto al sistema de referencia del manipulador (coordenadas de base). Si matemáticamente se desea expresar estas posiciones en coordenadas cartesianas, se le asigna a la tenaza un sistema (de coordenadas) que representa la orientación de esta, dado por los ejes coordenados  $\underline{n}(t)$ ,  $\underline{a}(t)$ ,  $\underline{s}(t)$ .

La posición de la tenaza respecto al sistema de coordenadas de base está dada por el llamado vector de posición. Las coordenadas del sistema base formadas por los ejes  $X_o, Y_o, Z_o$ .

El estado de la posición y orientación de la tenaza del robot puede expresarse por la siguiente ecuación:

$$H(t) = \begin{bmatrix} n(t) & s(t) & a(t) & p(t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

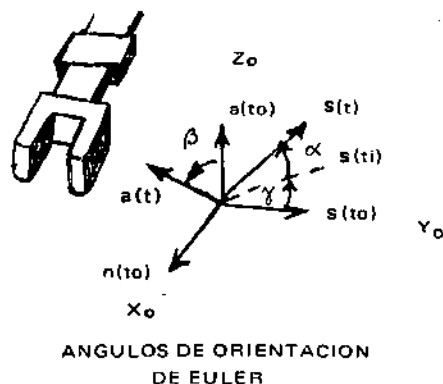
donde:

$$n(t) = \begin{bmatrix} \cos \alpha \cos \beta \cos \gamma - \sin \alpha \sin \gamma \\ \cos \alpha \cos \beta \sin \gamma + \sin \alpha \cos \gamma \\ -\cos \alpha \sin \beta \end{bmatrix}$$

$$s(t) = \begin{bmatrix} -\sin \alpha \cos \beta \cos \gamma - \cos \alpha \sin \gamma \\ -\sin \alpha \cos \beta \sin \gamma + \cos \alpha \cos \gamma \\ \sin \alpha \sin \beta \end{bmatrix}$$

$$a(t) = \begin{bmatrix} \sin \beta \cos \gamma \\ \sin \beta \sin \gamma \\ \cos \beta \end{bmatrix}$$

Los ángulos  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  corresponden a los ángulos de orientación respecto de las coordenadas de base (Ángulos de Euler).







(moteres paso a paso). En otros son diferentes, en los cuales existen un actuador (responsable del movimiento) y sensor (el elemento que mide posición).

En general velocidad se determina a través de sensores de posición y los sensores de torque son independientes de estos últimos, los cuales tienen por objeto determinar la carga de una articulación dada.

## 5.5.- Un ejemplo práctico

El manipulador construido por la STANFORD ELECTRIC ARM consta de un brazo con 6 articulaciones y una mano con tenazas. La Figura N° 3 muestra el diagrama de bloques del robot que incluye un sistema de visión artificial, un manipulador robótico y un computador PDP11/40 que actúa como sistema estimador de fuerza, de muestreo de datos, como monitor de condición y coordinación de las acciones del manipulador. Posee también intérprete que proporciona al usuario un lenguaje de comando del robot de alto nivel para sus aplicaciones.

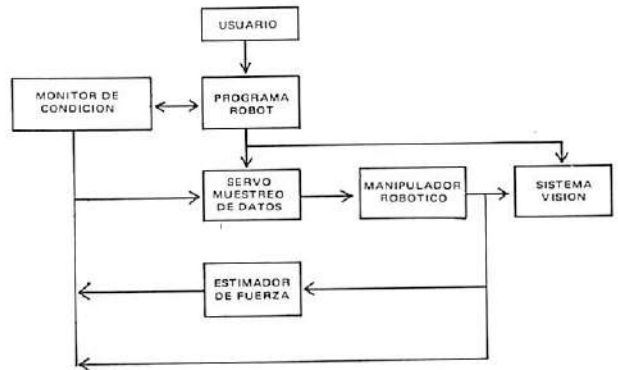


Figura N° 3 MANIPULADOR DE STANFORD

El computador lee la posición y velocidad de cada articulación e indica los setpoints al servo análogo, que maneja los motores de las articulaciones. El servo análogo recibe las ganancias de cada articulación y controla a su vez la velocidad y el torque estático de éstas.

El software asociado al servo muestreo de datos, corresponde a una rutina de interrupción que ejecuta la siguiente secuencia:

- a) Pone al día las variables de estado del robot, en base a velocidades y posición actual de las articulaciones, fuerza y torque.
- b) Lee datos de los sensores externos y los pone al día.
- c) Ejecuta los servo-procesos definidos por el usuario, determinando la posición, orientación, fuerza y torque a partir del estado actual del robot y de la lectura de los sensores.
- d) Resuelve conflictos entre servo-procesos de po-

## 5.2.- Grados de libertad

La mano es manejada por actuadores que mueven articulaciones. Cada articulación para un determinado desplazamiento tiene una coordenada particular. Existen infinitas soluciones en términos de coordenadas de articulación para que la tenaza alcance una posición determinada. La orientación y posición de la tenaza es función entonces de las coordenadas de articulaciones. Según la configuración geométrica y disposición de las articulaciones, los fabricantes orientan su diseño a satisfacer una solución.

## 5.3.- Velocidad y Torque

En la mayoría de los robot velocidad es función del torque que es capaz de soportar el actuador de la articulación respectiva. A su vez al actuador y el diseño mecánico de la estructura del robot determinan su capacidad de carga. A lo menos, en general los robot poseen dos velocidades, una la de operación normal (bajo carga) y otra, mayor que la normal, que le permite el posicionamiento del robot cuando éste se encuentra sin carga.

## 5.4.- Otras consideraciones

Los planteamientos dados en los puntos anteriores (5.1, 5.2, 5.3) para alcanzar el objetivo planteado, es decir, una determinada posición deben tener elementos que permitan el desplazamiento y a su vez que este desplazamiento sea medido en una forma precisa. Estos elementos son los sensores y actuadores. En algunos casos el actuador y sensor es el mismo elemento

sición-orientación y aquellos de fuerza-torque, de acuerdo con las restricciones impuestas.

e) Transforma el valor del estado del robot al espacio de articulaciones y computa los valores a ser enviados al servo-análogo.

El sistema estimador de fuerza calcula la fuerza y el torque externos de cada articulación, con los datos de velocidad de las mismas y el set-point del servo-análogo.

El programa usuario del robot se ejecuta por un intérprete que corre en un nivel no interrumpible, define los servo-procesos, los monitores de condición y luego espera la completación de acciones realizadas por los servo-procesos.

El monitor de condición atiende las condiciones definidas por el usuario a ser monitoreadas y las acciones a realizar si la condición se cumple.

Finalmente, el sistema de visión envía al robot la posición tridimensional de los objetivos que percibe, al mismo tiempo que acepta comandos simples para orientarse.

## 6.- LENGUAJES DE LA ROBOTICA

En general la mayoría de los primeros robot y robots de tipo didáctico son comandados a través de computador. Estos computadores tienen sus propios lenguajes de máquinas en bajo nivel, y también tienen opciones de algunos lenguajes de alto nivel según su aplicación.

Al aplicar los robots en los medios industriales se vio que el número de funciones que estos podían tomar a su cargo en las cadenas de producción crecía día a día, como también su complejidad. Por esta razón surgió la necesidad de tener lenguajes específicos orientados a la robótica. Se tiene dos modalidades que en parte dan solución a esto. Estos son lenguajes de uso dedicado y lenguajes de procedimientos (de alto nivel).

### 6.1.- Lenguajes de uso dedicado

El lenguaje de uso dedicado en general está directamente ligado con instrucciones de uso dedicado, las cuales tienen referencia al movimiento del robot, la velocidad con referencia a las distintas articulaciones.

Otras de las variedades que se presenta es el uso del robot en modo de enseñanza en el cual a través de teclado se opera los movimientos del robot. En éste existen dos botonerías por cada articulación, una de las cuales la mueve en un sentido y la otra en el otro. Estos movimientos en el modo de enseñanza quedan registrados en la memoria del computador que opera el robot. Al pasar a modo de operación la secuencia de movimiento enseñada se repite.

### 6.2.- Lenguajes de procedimientos

Estos lenguajes corresponden a lenguajes de alto nivel, que facilitan al usuario un conjunto de instrucciones que permiten la activación de los servo-procesos anteriormente mencionados. La Figura N° 4 presenta el estado del manipulador y las diferentes funciones que definen el sistema, usando el lenguaje RSS del manipulador de Stanford.

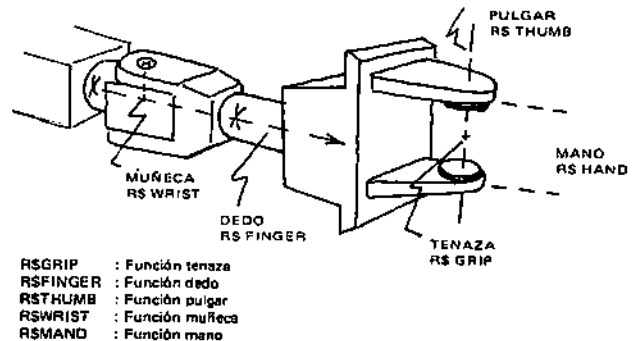


Figura N° 4 ESTADO DEL MANIPULADOR

Existe una serie de declaraciones como posición, orientación, fuerza y torque, que activan los servo-procesos asociados a ellas, por ejemplo:

POSITION POINT R\$GRIP = [-10, 40, 50]  
 Posición de tenazas en [-10, 40, 50]  
 ORIENT ASIGN R\$FINGER = [0, 0, -1]  
 Alinea eje dedo con eje -Z  
 FORCE VECTOR = [10, 10, -10]  
 Ejerce fuerza sobre muñeca  
 TORQUE VECTOR = [10, 10, -10]  
 Torque en muñeca

Se tiene además acceso a expresiones que utilizan funciones y operadores, por ejemplo:

DEFINE PERFORAR = R\$GRIP + 10 \* R\$FINGER  
 Evalúa un punto ubicado a 10 unidades de medida de la posición de la tenaza en la dirección de los dedos del robot.

También a través de monitores de condición, se chequea si ciertas operaciones son efectuadas, transfiriendo el control a una sentencia específica en el programa usuario:

TRAP1 TO MATCH ON R\$ TORQUE \* AXIS;  
 GTR 4; Establece un monitor de condición con prioridad 1 que saltará a la sentencia de etiqueta MATCH si el torque externo sobre AXIS es mayor que 4 unidades de torque.

De esta manera, el usuario puede escribir sus propios programas de aplicación para manejo del robot, en un lenguaje de alto nivel y de fácil programación.

## 7.- APLICACIONES DE LA ROBOTICA

En la actualidad, los robot han tomado un lugar de

importancia en la vida del hombre. Es común encontrarlos masivamente en la industria supervisando tareas en cadenas de producción, soldando, pintando o realizando ensamblaje de piezas y en general en todo tipo de tareas tediosas para el ser humano.

Juegan un papel importante en los medios contaminados, sobre todo en el dominio nuclear, donde son usados para inspeccionar las cuvas de reactores nucleares, manipular material radioactivo y reparar tuberías e intercambiadores. Se les utiliza también en ambientes submarinos y espacio exterior donde realizan complicadas labores de manipulación y toma de muestras.

Grandes avances se han logrado en medicina, con la construcción de instrumental de ayuda al diagnóstico utilizando la robótica. Por otra parte, un amplio campo se ha abierto a la robótica en la prospección y búsqueda de minerales. Por último, en lo cotidiano, encontramos todo tipo de robot que se ocupan de tareas domésticas y de entretención.

### 8.- INTELIGENCIA ARTIFICIAL

El MIT precursor de la inteligencia artificial la ha definido como una disciplina que intenta reproducir en máquinas los mecanismos de la inteligencia humana. Parece en todo caso pretencioso definir la inteligencia del hombre, cuando éste aún está lejos de dilucidar muchas interrogantes acerca de su comportamiento. Nos quedaremos entonces con una definición menos ambiciosa situando el ámbito de la inteligencia artificial en la reproducción de la actividad intelectual del hombre.

Los primeros pasos de la Inteligencia Artificial se sitúan en el laboratorio de Gray-walter, donde se construyeron las célebres tortugas electrónicas que llevan su nombre. Estas tortugas se alimentaban con luz artificial, que les permitía cargar sus acumuladores con la energía eléctrica transformada que obtenían de esa fuente luminosa. Su comportamiento era muy particular, se dirigían hacia la voz humana, reaccionaban frente al frío, calor y luz buscando en cada caso el abrigo adecuado, mostrando además sensibles cambios en su manera de actuar. Fue el primer intento de reproducir en máquinas el sistema nervioso del hombre y los principios de reflejos condicionados de Pavlov. Han pasado ya algunas décadas desde este primer intento y muchas disciplinas se han adherido al estudio de la inteligencia artificial, tales como la psicología, la lingüística, la sociología y otras afines, que desde diversos enfoques aportan su visión a un problema tan complejo como es el tratar de entender como piensa el hombre.

### 9.- PROBLEMATICA DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La actividad intelectual requiere de una serie de

etapas que van desde la percepción a la construcción de razonamientos. Es frecuente que el mundo real se nos presente en elementos que constituyen una escena formada por texto e imágenes y trataremos de seguir entonces, un cierto orden en las actividades que realiza el ser humano para comprender esa realidad, tomando en cuenta que se trata de una aproximación muy parcial de un problema muy complejo.

#### 9.1.- Percepción y reconocimiento de formas

Inicialmente, percibimos una escena con ayuda de nuestros sensores visuales. Luego es necesario reconocer las formas de ese texto o imagen a través de una evaluación global sin clasificación ni orden establecido. El reconocimiento de texto supone situarse en un contexto cultural, ya que se trata de reconocer letras de un alfabeto perteneciente a una lengua.

Por otra parte el reconocimiento de la imagen supone poseer una representación mental de los objetivos existentes en ella. Como resultado de estas operaciones, adquirimos informaciones globales que no tienen más sentido que el de un conjunto de elementos físicos.



#### 9.2.- Análisis

Esta etapa permite recolectar mensajes a partir de las informaciones preliminares obtenidas en la fase de reconocimiento.

Un primer nivel que llamaremos DENOTATIVO o de significación inmediata, permite en el caso del texto, reconocer símbolos, segmentar las cadenas de sím-

# desarrollos de ingeniería

bolos, realizar un análisis sintáxico y luego semántico de esas cadenas, resolver ambigüedades que se producen y acceder finalmente a un sentido para ese texto.

En el caso de la imagen hay ausencia de códigos, ya que los objetos son representados tal cual son y se hace necesario sólo establecer un inventario de objetos, creando las asociaciones pertinentes y solucionando ambigüedades que se presenten.

En ambos casos se obtiene un significado global del texto e imagen, requiriéndose un análisis más profundo y sutil que permita atacar los mensajes no resueltos en esta etapa, que utiliza en prioridad actividades de evaluación y decisión.

El segundo nivel, que llamaremos CONNOTATIVO, o con poder de evocación, de resonancia afectiva, moral, etc... da lugar al proceso de interpretación en el cual los mensajes adquiridos tienen un rol de índices en un proceso que es más sutil que el anterior y cuya actividad se funda principalmente en la analogía, asociación de ideas y memoria.

En esta fase se evalúa la importancia relativa de los

diferentes elementos de una situación, se reconocen similitudes entre situaciones en función de las diferencias observadas, diferencias entre situaciones en función de las similitudes observadas, se representan conceptos a través de sus propiedades generando clases.

Luego en la etapa de construcción de razonamientos se utilizan mecanismos de formación de hipótesis para elaborar estrategias y métodos inductivos para concebir nuevos conceptos a partir de los elementos ya adquiridos (operaciones de reunión, intersección y sustitución entre otros). Las estructuras ya representadas permiten formar relaciones entre conceptos usando sintáxis y semántica.

El esquema de la Fig. N° 5 intenta mostrar en forma simplificada los diferentes procesos que intervienen en las actividades intelectuales.

Se entiende que los tópicos aquí tratados sobre la Inteligencia Artificial, son sólo un esbozo de esta disciplina en pleno desarrollo hoy día y sólo pretenden mostrar en forma muy parcial parte de la problemática asociada a ella.

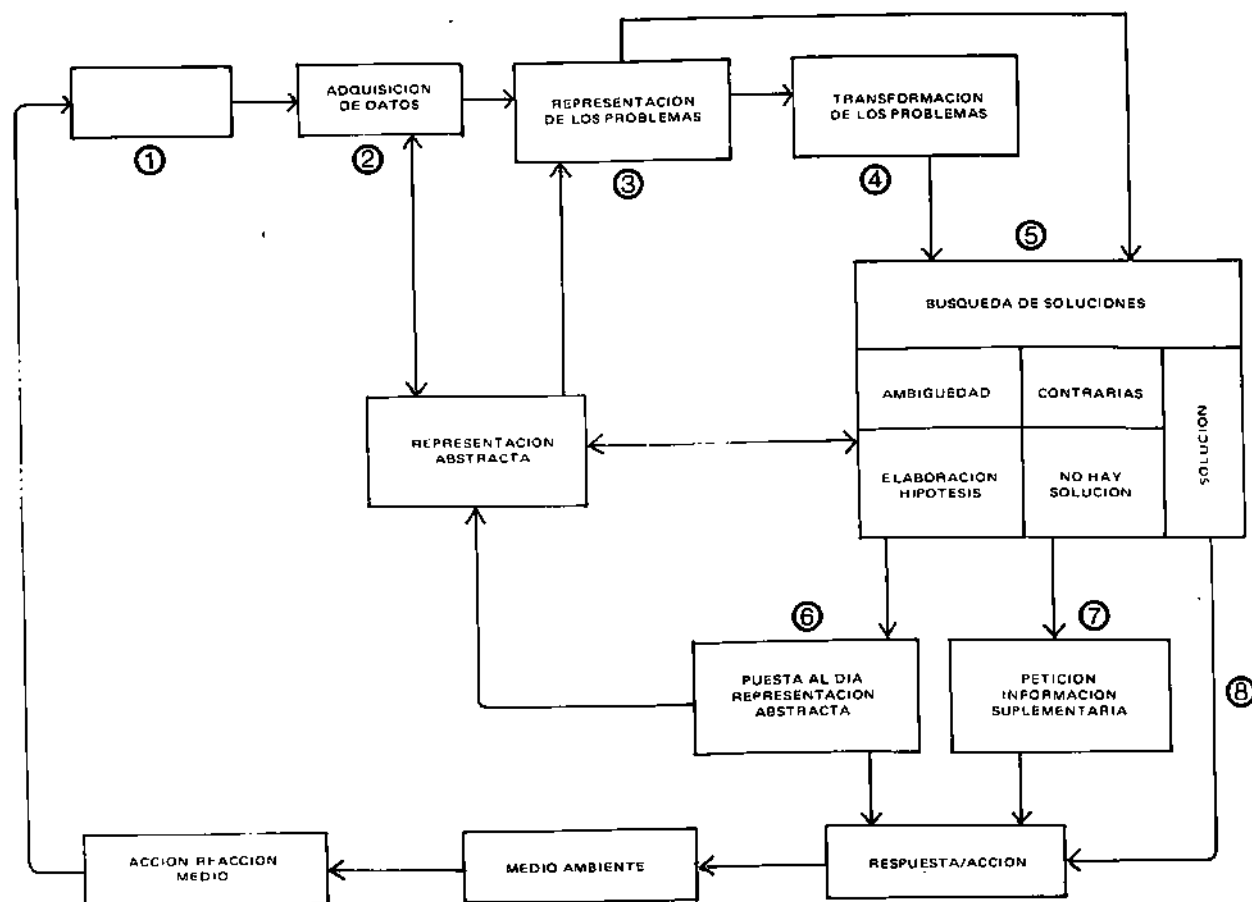


Figura N° 5 PROCESOS QUE INTERVIENEN EN LAS ACTIVIDADES INTELECTUALES

## 10.- LA 5a. GENERACION. APOYO A LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

El objetivo principal de los computadores de 5a. generación es el desarrollo de sistemas orientados al procesamiento de conocimientos. Para ello se han desarrollado nuevos lenguajes, tales como LISP y PROLOG, fundados en la gramática de Montague (de tipo predicativa), así como procesadores especializados (con tecnología VLSI) y bases de datos conceptuales (de tipo relacionales).

Este proyecto comenzó a desarrollarse en 1982 en el Institute for New Generation Computer Technology (ICOT) en Japón, con la construcción de una máquina secuencial de inferencia, que fue luego reemplazada por otra de arquitectura paralela. Más tarde, se incorporó al sistema una base de datos de tipo relacional compuesta de 8 procesadores con 400 Mbytes de memoria de semiconductores y 10 Giga bytes de memoria externa y un cierto número de interfaces inteligentes de comunicación entre lenguajes naturales (PROLOG) y de interrogación de bases de datos.

La Figura Nº 6 esquematiza el computador de 5a. Generación.

El computador de 5a. Generación posee:

a) Procesadores de razonamiento (de inferencia), que controlan los mecanismos de resolución de problemas de deducción lógica. El funcionamiento de estos mecanismos reposa en el uso de un lenguaje, cu-

ya primera versión se basa en PROLOG, con tres extensiones: estructuración de datos, meta-lógica (adquisición de conocimiento e inducción lógica) y procedimientos de acceso a las bases de datos relacionadas.

b) Procesadoras de bases de datos conceptuales, formado por varios agentes inteligentes que localizan en fuentes de datos distribuidas, aquella apropiada para la pregunta propuesta. Esto supone tener un mecanismo de razonamiento lógico y un conjunto de bases de datos organizadas.

c) Interfaces de comunicaciones inteligentes, que permiten la entrada y salida al sistema a través de canales naturales como lo son la voz, la imagen y los lenguajes naturales.

## CONSIDERACIONES FINALES

Las proyecciones de estas disciplinas en nuestro ámbito universitario tuvieron como consecuencia la formación de un grupo de Robótica e Inteligencia Artificial que ha reunido académicos especialistas en diferentes áreas.. Es así como el grupo de investigación cuenta con investigadores de Departamentos de Informática, Electricidad, Ingeniería Industrial y Mecánica, que aportan a través de sus proyectos de investigación, un esfuerzo mancomunado para estudiar, adquirir mayor conocimiento e investigar estas nuevas disciplinas.

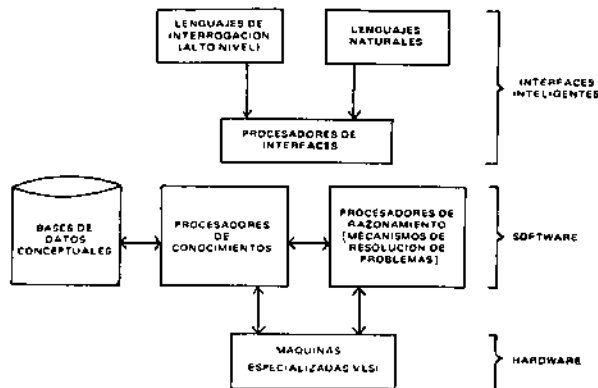


Figura Nº 6 COMPUTADOR DE 5a. GENERACION

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Featherstone, R., Position and Velocity Transformations between Robot endeffector coordinator and joint angles.
- 2.- Winston P.M., Brown R.H., Artificial Intelligence: a MIT Perspective. Vol. I., Press, 1982.

- 3.- A System for programming and controlling sensor based robot manipulators. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence. Vol. PAMI-5, N° 1, Jan 1983.
- 4.- A robot system wich acquires cylindrical work pieces from bins. IEEE Transaction on Systems, man and cybernetics. Vol. SMC 12, N° 2 , march/april 1982.
- 5.- Felisa Córdova G., Bernardo Aburto V., Guy: un robot experimental. Anales VI Congreso A.C.C.A., octubre 1984.

# COMPAÑIA MINERA RIO HUASCO

EN EL PROGRESO DE LA REGION DE ATACAMA



PLANTAS DE BENEFICIO:  
DOMEYKO - CHAÑARCILLO - CALDERA

MINERALES DE:  
CHAÑARCILLO - CHIMBEROS  
LOMAS BAYAS - MARGA MARGA

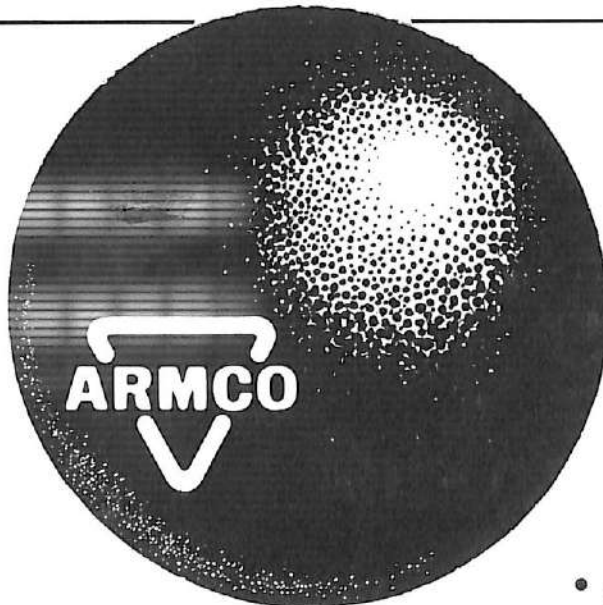
VALLEJOS 810 - TELEFONO 2179  
COPIAPO

# SOCIEDAD LLAUCAVEN

SOCIEDAD COLECTIVA MINERA  
NUÑEZ HNOS.



CHACABUCO 696 - TELEFONO 2842  
CASILLA 217 - COPIAPO



- Programa Simunill, completa simulación computacional de circuito de molienda, diskette y panel control, opera con Apple II
- Ingeniería de control automático de molienda, método PCDP

## PRODUCTOS E INGENIERIA PARA MOLIENDA

- Barras y bolas forjadas Armco
- Bolas fundidas alto cromo Armco
- Asesoría técnica en cálculo cargas balanceadas
- Revestimiento de acero Minneapolis Electric para molinos
- Planchas antiabrasivas Heflin Supe R.E.M. 500 Brinell
- Monitor de tamaño de partículas Armco - Autometrics PSM - 400, para pulpa, sistema ultrasonido, con microprocesador
- Analizador por rayos X, Armco Autometrics XRA 1500, para flotación, tipo probe, en línea
- Monitor, de tamaño de partículas gruesas, Armco - Autometrics modelo MSD - 95, para alimentación fresca al molino

**ARMCO CHILE S.A. SISTEMAS DE MOLIENDA**

Fono 2511484, Casilla 16217 - Santiago de Chile, Telex 340068 ARMCO CK

# RECURSOS ENERGETICOS RENOVABLES



*Sr. Jorge Arevalos Q. Ing. Civil,  
Profesor Jornada Completa Depto. Ciencias Básicas U.D.A.*

## EL PROBLEMA ENERGETICO

El problema de la Energía ha preocupado al hombre desde su creación.

Las diferentes fuentes de Energía existentes han sido utilizadas por el hombre dependiendo de las facilidades de su utilización. A pesar del reto tecnológico provocado por la dificultad en aprovechar directamente las abundantes fuentes de energía que nos son brindadas a través de la naturaleza, es que el hombre se ha preocupado de obtener, distribuir y utilizar en forma eficiente la energía.

La crisis que tuvo lugar a fines de 1973, al cuadruplicarse los precios del petróleo, alteró bruscamente el panorama energético mundial y planteó la necesidad de utilización de fuentes alternativas.

Poco antes de esta crisis, las personas inquietas por los problemas ecológicos habían hecho un llamado de alerta de importantes proyecciones en el panorama energético, al destacarse la necesidad imperiosa de preservar el medio natural y evitar la contaminación ambiental.

Algunos de los principales efectos de la crisis mencionada, han sido resumidos en los siguientes:

1. Aumento relativo en el costo de la energía que pasó a constituir entre 8% y 10% del P.G.B. en contraposición con el 2% y 3% anterior.
2. Baja de las tasas de crecimiento económico global que ha disminuido desde un 5% anual entre 1965-1973 a menos de 3% desde entonces.
3. Cambio en el crecimiento del consumo de energía. Disminuyó desde un 5.5% acumulativo anual entre 1965-1973 a un 1.7% entre los años 1974-1978 con baja notable en la incidencia del petróleo en el consumo de Energía que cayó de un 7.7% a solo un 0.5% acumulativo anual en los mismos períodos.(1)

Estos efectos negativos han tenido respuesta de los gobiernos y de otros organismos para procurar soluciones al problema.

Las diferentes estrategias que se estudian están en lapsos de tiempo que tienen una frontera que abarca medio siglo o más.

Estas circunstancias han hecho ver muy claramente la necesidad de rectificar rumbos mediante un proceso de mayor racionalidad en la explotación de recursos naturales, en la elección de nuevas fuentes y tecnologías, así como también en el consumo energético.

Ya en 1979 se podía afirmar que "la época de energía barata y abundante ha llegado a su fin"(2) y que la gran tarea era llevar a cabo un adecuado proceso de transición desde la exagerada dependencia del petróleo hasta un creciente desarrollo de fuentes de energía renovables —que no se agotan y son limpias— pasando por un período de mayor dependencia del carbón y otras fuentes tradicionales que han cobrado vigencia.

## FUENTES DE ENERGIA RENOVABLES

Las fuentes de energía renovables se encuentran desde hace varios años en pleno proceso de investigación y desarrollo en los centros de investigación internacional.

Se dice que en la actualidad los recursos energéticos renovables representan alrededor del 1.5% del consumo energético mundial.

Estas fuentes están llamadas a cumplir un papel importante en la sustitución parcial de las fuentes primarias tradicionales en la medida en que el precio y la tecnología vayan haciendo conveniente su reemplazo, y también en la incorporación de nuevos sectores marginados del sistema energético.

Ahora bien, la crisis energética mencionada nos lleva a considerar un problema de perspectiva que a veces es olvidado.

En efecto, como dice el Dr. Igor Saavedra (3), se hace necesario distinguir entre la crisis energética vista

## desarrollos de ingeniería

desde la perspectiva de un país desarrollado y la misma vista desde uno subdesarrollado.

El plantea las cosas en términos de que las situaciones son muy diferentes y en consecuencia en un caso en que no cabe limitarse a esperar las soluciones que encuentren los países "grandes" para comprarlas después al precio que nos las quieran vender y mal aplicarlas —porque estaban diseñadas para otras realidades— en nuestros países.

Nosotros agregaríamos que lo mismo que se da a nivel internacional se puede aplicar al contexto nacional, en donde la perspectiva a nivel regional es todavía diferente, desde el punto de vista central. A pesar de haber avanzado, aún hay mucho que hacer y así dar un verdadero impulso a la investigación regional en esta materia.

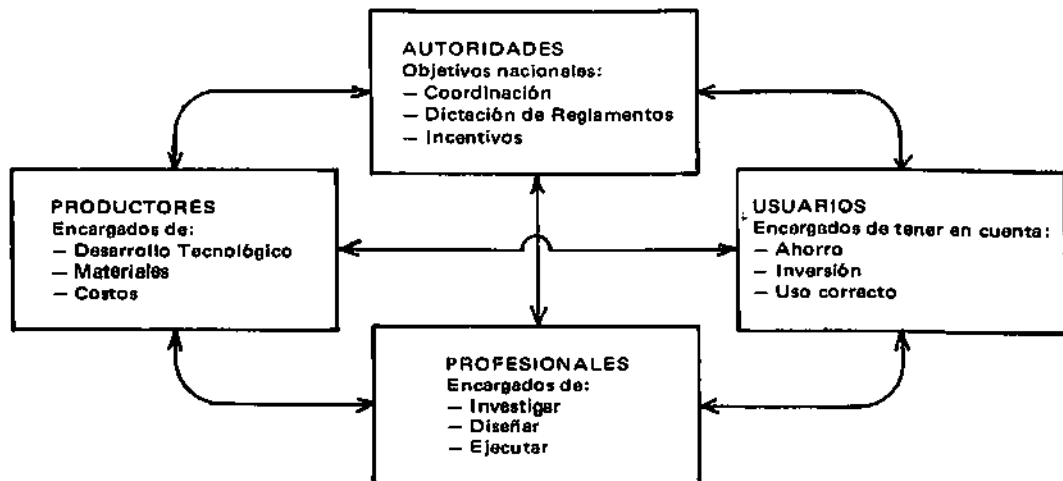
Dentro de las entidades preocupadas por el problema energético, las universidades y en particular las Facultades de Ingeniería tienen un papel importantísimo que jugar. Ha habido un avance bastante grande en el campo de investigación científica y tecnológica habiéndose hecho contribuciones interesantes en tecnologías destinadas al ahorro y búsqueda de nuevas fuentes de energía.

Es en este contexto en el cual marchamos enmarcados por nuestros tan limitados recursos económicos.

Otro aporte como universidad también está en emprender una acción decisiva en la creación de conciencia generalizada sobre la energética.

### SISTEMA ENERGETICO

Es importante tratar el problema teniendo en cuenta todos los aspectos de lo que podríamos llamar un: "**SISTEMA ENERGETICO**", el cual debería ser considerado como básico en la toma de decisiones de políticas energéticas. Dicho sistema estaría estructurado según el siguiente esquema:



Se cree fundamental tener presente este sistema considerando desarrollar investigación en nuevas fuentes energéticas, y la evaluación del efecto sobre cada una de las componentes del sistema, teniendo en cuenta la realidad regional.

En este contexto, a partir de las políticas nacionales, se deben buscar las soluciones en cada región en particular.

Ahora bien, hay una vasta cantidad de temas de gran importancia para el desarrollo y para el eficiente funcionamiento de este sistema.

Aplicándolo a la realidad regional, se cree importante estudiar y evaluar el potencial de aplicación de nuestros recursos, fundamentalmente solares y eólicos. Considerando que la utilización del concepto de potencial de aplicación abarque no solo el concepto de magnitudes físicas, sino el impacto económico, social, cultural, y su relación con la planificación energética.

También cabe mencionar aquí, la importancia que tendría el que las inversiones energéticas deberían ser visualizadas también como inversiones en capacidad tecnológica y no sólo como inversiones en capacidad productiva de energía.(4)

Es conveniente destacar las restricciones propias que tiene el Sistema cuando se piensa en las fuentes renovables de energía:

1. **Restricciones climatológicas:** Aleatoriedad de los recursos

2. **Restricciones tecnológicas:** Insuficiente desarrollo y producción de tecnologías apropiadas.

3. **Restricciones económicas:** Falta de ingreso en los consumidores para hacer inversiones iniciales.

Falta de fondos nacionales para desarrollo en gran escala, debido a su prioridad pequeña comparada con otras necesidades.

4. **Restricciones sociales:** La resistencia al cambio. Modelos tradicionales y culturales atentan contra la incorporación de nuevas fuentes energéticas.



Lo importante en el quehacer científico emprendido es el entender estas restricciones en el marco apropiado, es decir, que no se disminuyan o se magnifiquen inadecuadamente.

## FUENTES DE RECURSOS EN ATACAMA

Aplicando a nuestra realidad regional, lo que a nivel mundial y nacional se discute como alternativas viables más recomendadas (6), es que se cree importante desarrollar actividades de investigación regional en el ámbito de las fuentes energéticas no convencionales y específicamente en lo que dice relación con recursos renovables.

Desde el punto de vista de los recursos naturales como son sol y viento, la región de Atacama se encuentra en condiciones de privilegio frente a otras regiones del país.

La ubicación geográfica, sus condiciones climáticas y la conformación de sus valles, la hacen estar en una situación muy propicia para la explotación de Energía Solar y Eólica.

Existe un potencial energético interesante, cuya explotación hasta ahora esta en una etapa inicial y que cada día que pasa presenta mayores ventajas comparativas frente a las fuentes tradicionales que aún son utilizadas en todos los sectores productivos.(5)

Algunas aplicaciones aisladas y que han sido calificadas como exitosas, dan pleno respaldo a la iniciativa de desarrollar investigación en este ámbito, fundamentado además en el elevado costo de la energía tradicional como lo es el petróleo y sus derivados y la energía eléctrica.

## ENERGIA EOLICA:

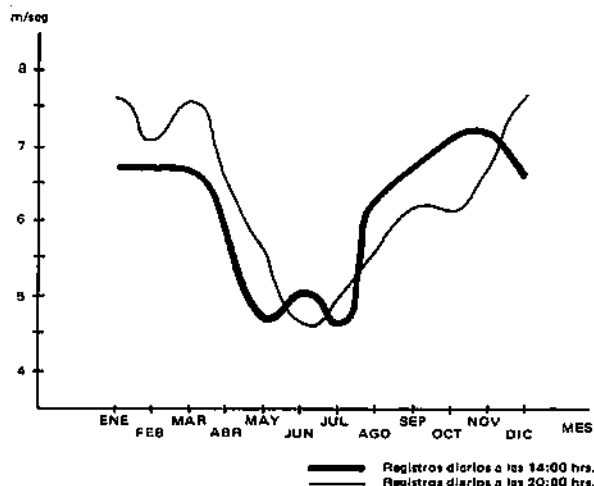
A modo ilustrativo y en un primer análisis simplificado aparte de otras consideraciones se presenta un grafico (Nº 1) de la rapidez media de viento (promedio mensual) de un año cualquiera que ilustra nuestra potencialidad en una primera aproximación ya que proyectos en realización están orientados a una evaluación de este potencial en términos de datos y modelos apropiados. Y como desafío se ha planteado la configuración de un mapa eólico de la región.

Se estima que hay condiciones ventajosas para utilizar la Energía Eólica fundamentalmente en:

- (a) Generación de energía eléctrica en lugares aislados (en donde se efectúan labores de minería, agricultura, pesca, etc.)
- (b) Bombeo de agua subterránea para utilización en minería y agricultura.
- (c) Generación eléctrica complementaria.

## ENERGIA SOLAR:

Se puede decir que para ser esta una zona tan privi-



RAPIDEZ MEDIA DE VIENTO PROMEDIO MENSUAL

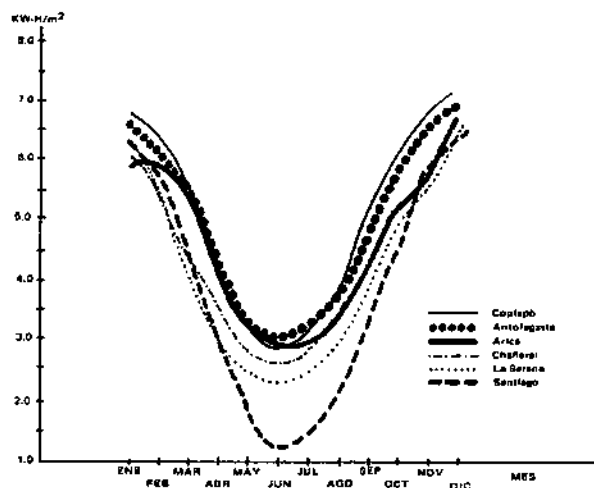
Gráfico N° 1.

legiada desde el punto de vista de recursos solares, la actividad en este sentido esta en una etapa muy incipiente.

El gráfico N° 2 presenta un registro de radiación solar horaria media mensual de algunas ciudades de Chile en donde se aprecia como Copiapó presenta niveles elevados.

Desde el año 1978 se han realizado algunos trabajos de aplicación domésticas e industrial (8). Se mencionan de una manera resumida algunas actividades ya emprendidas en la región.

## 1.UTILIZACION DE ENERGIA SOLAR EN UN SECADO PARA PESCADO.



RADIACION MEDIA MENSUAL SOBRE SUPERFICIE HORIZONTAL

Gráfico N° 2.



Colectores solares en Hotel Diego de Almeyda de Copiapó.

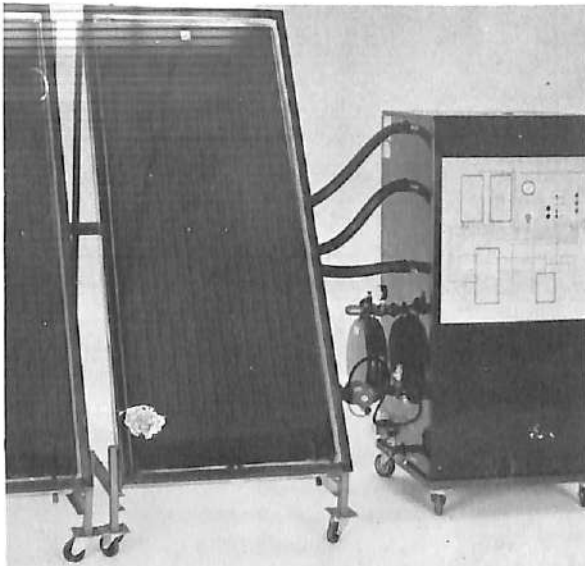
2. PLANTA SOLAR DE CALENTAMIENTO DE AGUA. EN DIVISION EL SALVADOR DE CODELCO CHILE.

3. CONSTRUCCION DE CALEFACTORES SOLARES EN LA ZONA.

4. PLANTA DE SECADO DE CONCENTRADOS EN PUEBLO DE LLANTA.

### LA UNIVERSIDAD DE ATACAMA:

La Facultad de Ingeniería de la Universidad, a través de su Departamento de Ciencias Básicas, ha comenzado desde el año 1984 a desarrollar investigación en Energía Solar y Eólica con la finalidad de intensificar el uso de estos recursos en la zona.



De esta forma se están realizando talleres de trabajo, recopilación bibliográfica y se están llevando a cabo contactos a nivel nacional para desarrollar a mediano plazo proyectos que beneficiaran directamente a la región.

Se han dado los primeros pasos en la presentación de proyectos de evaluación de recursos y estudios técnico-económicos con el objeto de cuantificar las posibilidades de utilización de dichos recursos en diversas aplicaciones en el sector productivo(7). Como aplicaciones más inmediatas se mencionan, **aprovechamiento de la Energía Solar** en :

(a) Implementación en forma masiva del uso de calefactores solares, especialmente para incorporar a sectores postergados a la utilización de agua caliente. Disminución de costos de energía en aplicaciones industriales.

(b) Implementación de hornos solares.

(c) Sistemas de desalinización y destilación de agua.

(d) Sistemas de concentración y extracción de sales.

(e) Sistema de secado de concentrados minerales.

(f) Secado de granos, frutas y verduras.

(h) Implementación de invernadero.

La universidad, conciente de su responsabilidad en esta materia, esta preocupada de canalizar en forma apropiada el manejo de esta riqueza potencial contando con ello una constante preocupación por obtener una información adecuada y optimizada, además de tener contactos con entidades que llevan más experiencia en la materia.

### REFERENCIAS

1. Algunas consideraciones en torno a un curriculum en energía. S. Carter y otros. II Simposio Interuniv. de energía. Nov. 1983.

2. Energía 1979-1990 JUAN PEDRALS Fundación BHC.

3. Cuadernos N° 14 Consejo de Rectores. "Universidad ante la crisis energética mundial". Igor Saavedra.

4. Panorama Científico N° 5, 1984.

5. "Alternative Energy - A. PANDORA' S BOX FOR THE TRIRD WORLD Dr. Markos Fritz II Simposio Inter univ. de Energía Nov.1983.

6. Opciones de investigación y desarrollo en el área de la energía. S. Alvarado. II Simposio Inter. de Energía. Nov. 1983.

7. Proyecto enviado a ODEPLAN Programa de Fortalecimiento Regional apoyo sectores productivos: "Aplicación de Energía no convencional en sectores productivos". Jorge Avalos Q., y G. Canales P.

8. La Energía Solar. Una alternativa para Atacama. J. Avalos Q. - G. Canales P. Revista Corede N° 7.

# CHILE MINERO

*Dr. Werner Schlein Sch., Director Ejecutivo del CIMM.  
Presentado en ciclo de charlas en conmemoración del XV Aniversario  
del Centro de Investigaciones Minera y Metalúrgica.*

Chile es un país reconocido mundialmente por un conjunto de circunstancias que le hacen muy particular. Es largo y angosto y fue justamente un escritor nacional, B. Subercaseaux, quien escribió "CHILE UNA LOCA GEOGRAFIA", donde lo describe tal como es. Pero, además, se le conoce por sus terremotos y las catástrofes nacionales que ello involucra.

Su cordillera de los Andes, que permite la práctica del sky cuando en el Hemisferio Norte la gente goza de sus vacaciones estivales.

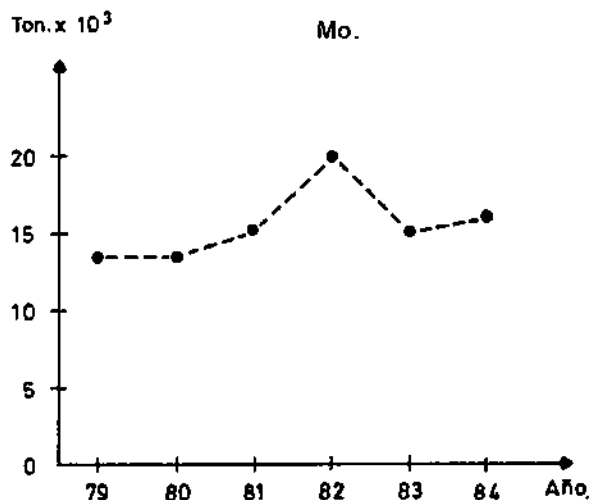
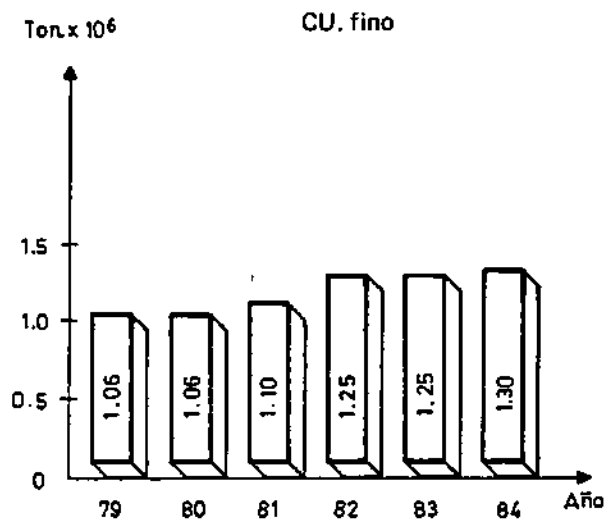
Su larga costa y las 200 millas marinas proporcionan pescados y mariscos que lo hacen famoso por el mundo entero. En materia agrícola destaca la producción frutícola, por la calidad de la misma, como también el prestigio de sus vinos, nobles descendientes de las cepas francesas originales.

Pero más allá de todo lo mencionado, Chile destaca a nivel mundial, por su producción minera. Somos los primeros productores de cobre con más de 1.300.000 toneladas por año. Ello gracias a sus grandes yacimientos y altas leyes. Estamos, además, entre los principales productores de Re (Primero en reservas mundiales) y Mo (35% de las reservas mundiales y segundo en producción). Tenemos una producción importante en yodo (Segundo en reservas mundiales) y poseemos el 40% de las reservas mundiales de Li. Somos octavo y noveno productores de plata y oro, respectivamente. Tenemos importantes recursos en salitre y podemos producir gran cantidad de sales potásicas. Somos, además, importantes productores de I<sub>2</sub> a partir de las aguas madres del salitre. Tenemos enormes recursos en carbón, aunque no son de óptima calidad, pero compensa el volumen de los mismos.

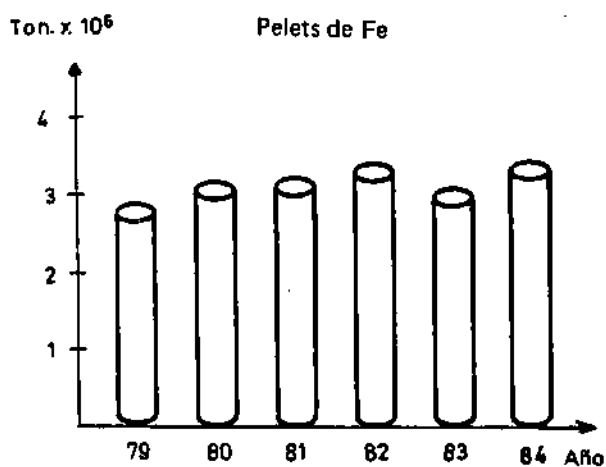
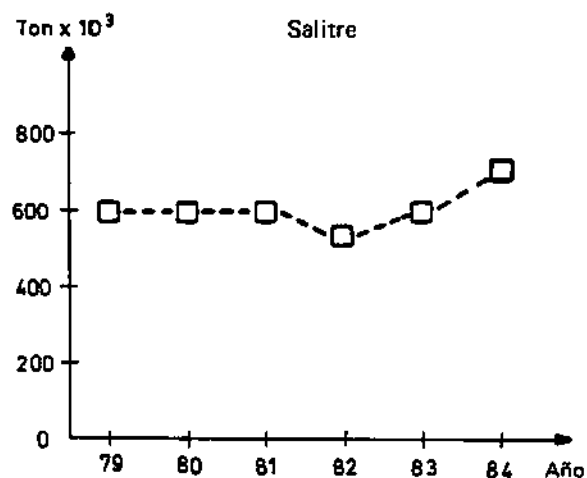
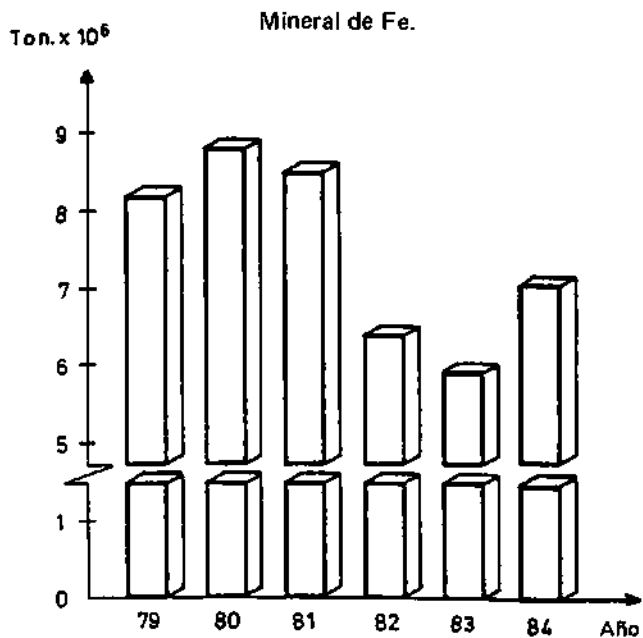
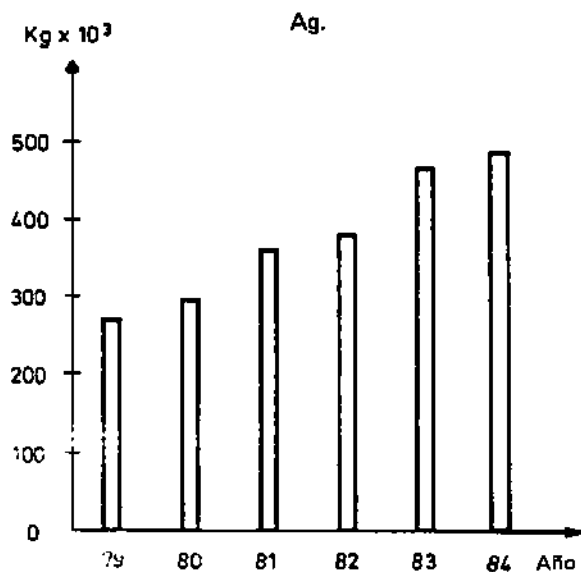
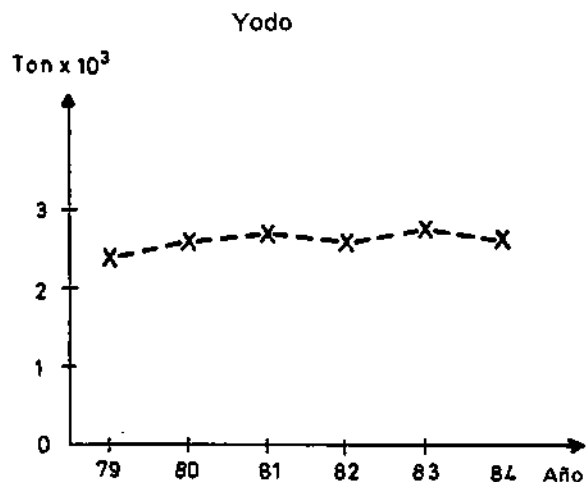
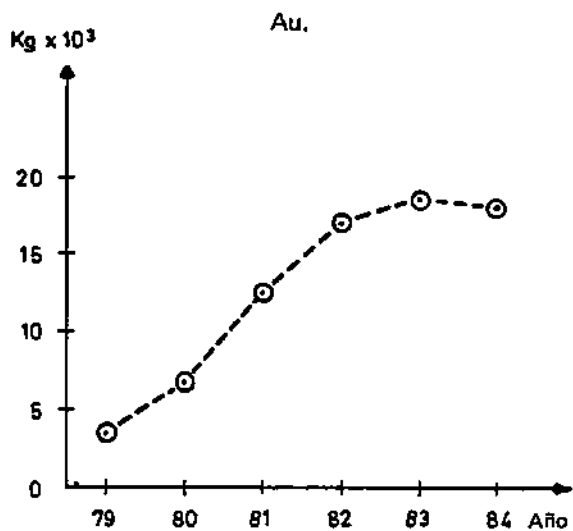
Finalmente, no podemos dejar de atribuir importancia a los recursos de petróleo y gas naturales, que permiten un ahorro de divisas aunque sólo cubren entre el 40% y 50% de nuestras necesidades.

Una visión tan rápida y escueta sólo nos permite, en esta etapa, afirmar la importancia de la minería en el acontecer nacional, pues hay que agregar que representa más del 60% de nuestras exportaciones, luego significa que es un rubro de primera importancia nacional.

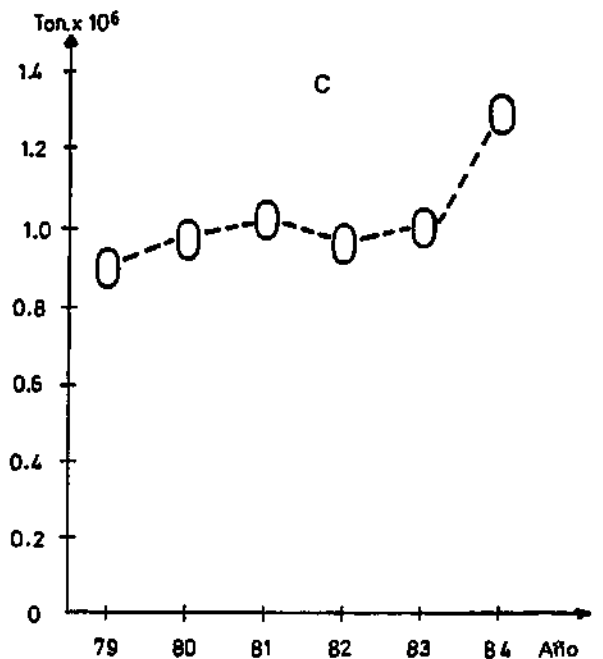
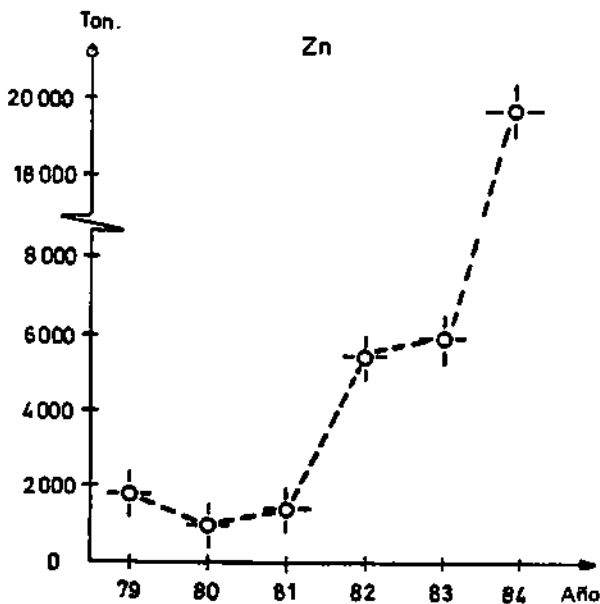
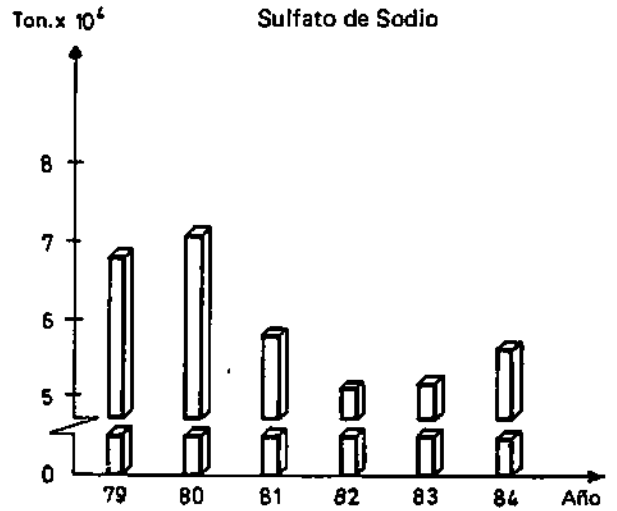
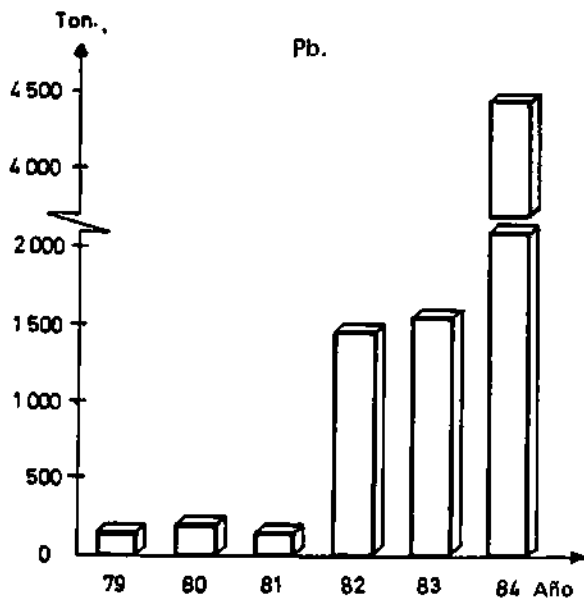
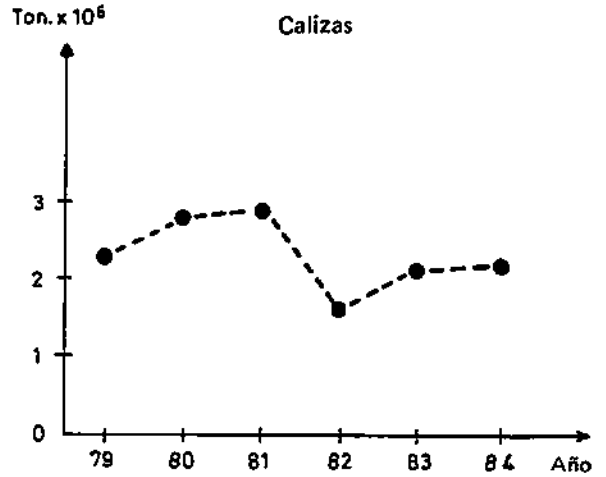
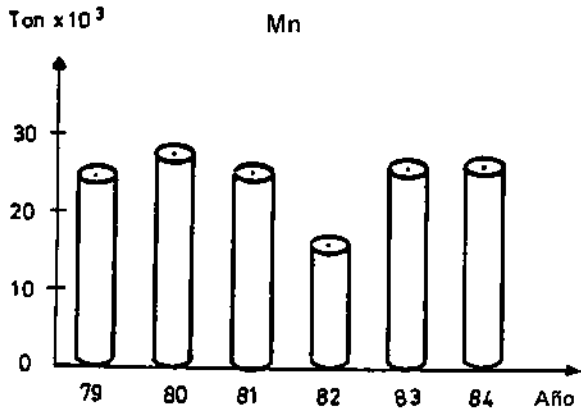
Como una manera de apreciar el nivel del cual estamos hablando, presentamos a continuación en hojas sucesivas, gráficos que indican la producción chilena de algunos rubros principales en materia minera.



# desarrollos de ingeniería



# desarrollos de ingeniería



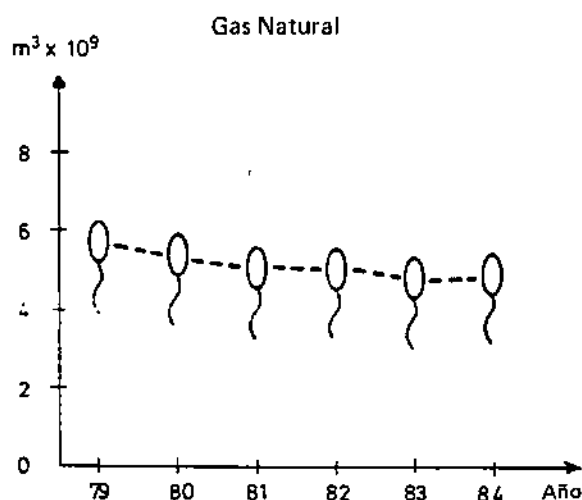
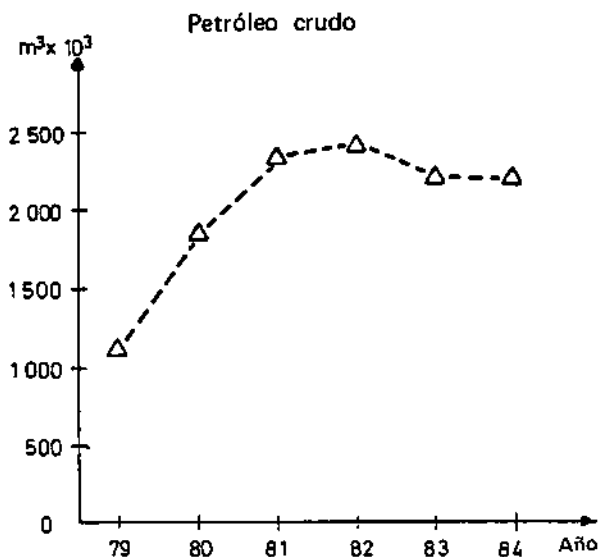
# desarrollos de ingeniería

varios los establecimientos que imparten enseñanza ligada a estos campos. Podemos citar, entre otros:

## UNIVERSIDAD CHILENAS AREAS

### MINERIA-GEOLOGIA-METALURGIA

- U. DE CHILE
- U. DE SANTIAGO
- U. DE CONCEPCION
- U. DE LA SERENA
- U. DE ATACAMA
- U. DE ANTOFAGASTA
- U. DEL NORTE
- U. ARTURO PRAT
- U. TEC. FED. STA. MARIA



Vale decir, 9 establecimientos Universitarios, algunos de ellos con interesantes líneas de investigación, programas de post-gradó y un adecuado nivel académico.

Finalmente, no puedo dejar de lado el aspecto que, para mí, reviste una mayor importancia y es el aspecto Técnico-científico que el país posee a través del Centro de Investigación Minera y Metalúrgica. Establecimiento concebido principalmente por el Gobierno de Chile con Asistencia de Naciones Unidas y cooperación bilateral de Bélgica, Canadá y Japón, para servir de apoyo tecnológico a la industria minera de este país. Los servicios prestados por este Centro en el año 1984, se repartieron en la siguiente proporción:

GRAN MINERIA DEL COBRE	34.5%
EMPRESAS EXTRANJERAS	31.5%
MEDIANA Y PEQUEÑA MINERIA	34 %

Debemos recordar que la minería representa el 60% de los ingresos que percibe el país por sus exportaciones. Se vislumbra que a futuro la minería continuará siendo el baluarte de la economía nacional, tal como lo señalan las tablas referentes a stocks de cobre y demanda futura, razón por la cual, no se la puede descuidar ya que es el patrimonio nacional más grande que el país posee en la actividad.

Para poder explotar estos recursos, ha sido necesario preparar recursos humanos en cantidad y calidad adecuadas y es así como en materia de educación universitaria, relacionada con minería, geología y metalurgia, también Chile destaca, pues son

### SITUACION COBRE

STOCKS	L.M.E.	COMEX
1983	436.000	371.000
1984	126.000	251.000

### PRECIO COMEX

1983	71.9c/lb.
1984	61.9c/lb.

### COBRE FUTURO

DEMANDA FUTURA  
1-2% ANUAL

ORIGEN DEL AUMENTO  
CHILE - PERU - MEXICO

Además de haber desarrollado una vasta actividad en materia de investigación interna que le permite su desarrollo y crecimiento interno con miras al crecimiento tecnológico nacional. Por otro lado, la investigación realizada por CIMM en las diferentes áreas de la minería y la metalurgia nos ha llevado a una importante posición, tanto nacional como internacional. Es así como en una reciente publicación aparecida en el J. of Metals, de mayo de este año, en una revisión de la Industria del Cobre en el mundo durante el año 1984, en la cual se destacan los avances técnicos en las diferentes operaciones extractivas de cobre, figuran 88 referencias bibliográficas, de las cuales el 10% son chilenas y de ellas, el 90% son artículos escritos por profesionales actualmente trabajando en CIMM o que han pertenecido al Centro con anterioridad.

El artículo señalado es una demostración de la capacidad de investigación de CIMM, lo que nos permite decir que estamos a un nivel similar con los Centros de otros países ya que los temas que abordamos son parecidos. Sólo por mencionar algunos: molienda autógena, lixiviación bacteriana, lixiviación in situ, tratamiento hidrometalúrgico de relaves, minerales de baja ley, de botaderos, retratamiento de escorias, diversas técnicas de métodos de fusión y refinación, control ambiental, desarrollo y diseño de equipos, etc.

Para terminar deseo dejar establecido que un país minero como el nuestro, si quiere seguir a la vanguardia en cuanto a producción, expansión y explotación de sus recursos minerales debe encontrar la solución de los problemas con ciencia y tecnología, lo que implica no sólo el contar con buenas instalaciones físicas, sino además, tener una capacidad de pensar, representada por su capital humano. Esto significa que la ciencia y la tecnología son inversiones a largo plazo al igual que la preparación de los recursos humanos, por lo cual debemos dedicar esfuerzos especiales para desarrollarlos y promoverlos y así lograr que nos lleven por un camino más corto al mejoramiento de las condiciones de vida de todos los chilenos.

# MADECO

DIVISION ENERGIA SOLAR

### PROYECTOS CONSTRUCCION Y MONTAJE DE EQUIPOS SOLARES COMPLETOS (\*) PARA CALENTAMIENTO DE AGUA EN:

- CASA HABITACION CON 2 A 15 PERSONAS
- HOSPITALES ■ COLEGIOS ■ CAMPINGS
- HOTELES Y MOTELES ■ INDUSTRIAS
- ESTADIOS ■ GIMNASIOS

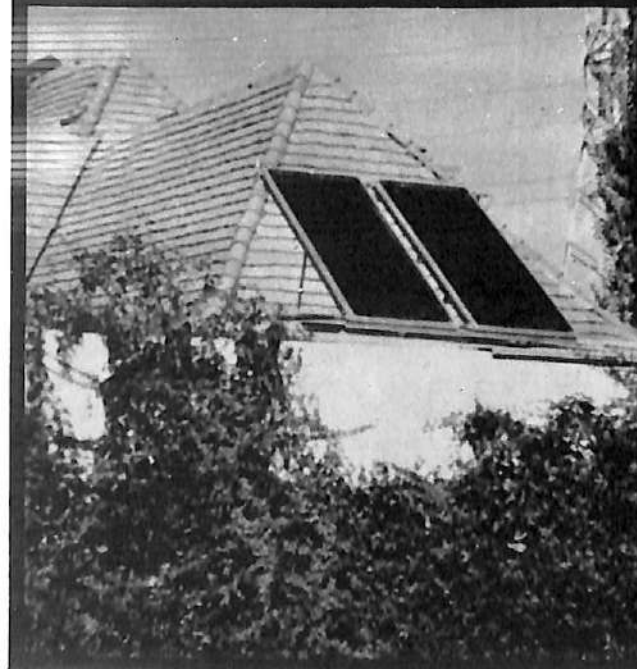
### PRINCIPALES CARACTERISTICAS

- **COLECTOR SOLAR** : PLACA ABSORBENTE 100% DE COBRE, VIDRIO TRIPLE, CAJA Y MARCO DE ALUMINIO, AISLACION DE LANA MINERAL.
- **ESTANQUE ACUMULADO**: ACERO GALVANIZADO, AISLACION DE POLIURETANO INYECTADO.
- **SISTEMA DE CONTROL**: TERMO DIFERENCIAL RESOL (ALEMANIA) CON PROTECCION CONTRA CONGELAMIENTO.
- **SISTEMA DE IMPULSION**: MOTOBOMBA ELECTRICA JUNKERS (ALEMANIA) SELLADA CON IMPULSOR DE ACERO INOXIDABLE O TEFLON, BAJO CONSUMO.
- **VALVULA DE VENDEO**: AUTOMATICA JUNKERS (ALEMANIA).

**GARANTIA 5 AÑOS - SERVICIO TECNICO CREDITO HASTA 24 MESES**

MADECO S.A. Ureta Cox 930, San Miguel, Santiago, Fono 516613, Anexo 269 - 357

(\*) Sistema de Circulación Natural y Circulación Forzada.



# ALFONSO PROHENS ARIAS

FUNDO "LA PUERTA"  
TIERRA AMARILLA



## SODIMAC

- MOTORES - MOTOBOMBAS
- GRUPOS ELECTROGENOS - COMPRESORES
- PERFILES - FIERRO ANGULO - PLATINAS
- PLANCHAS - ART. DE SEGURIDAD

PANAMERICANA SUR S/N • TELEFONO: 2419  
**COPIAPO**

**TODO PARA CONSTRUIR**

## SUPERMERCADO IDUFER LTDA.

COQUIMBO: Aldunate 1662 - Fono 311014  
LA SERENA: Huanhuali 839 - Fono 211653

CON EL MEJOR SURTIDO DE LA IV REGION  
Y LOS PRECIOS MAS BAJOS



## CARDOEN

EXPLOSIVOS CARDOEN LTDA. a la vanguardia en innovaciones  
Tecnológicas en la manufactura de explosivos industriales

SANTIAGO: Av. Providencia 2237, 6º piso - Fono 2511884 - Télex 340997 INCAR CK  
ANTOFAGASTA: Sucre 220 - Fono 223999

BUSES  
**ViaNorte**



- OVALLE
- LA SERENA
- CALDERA
- EL SALADO
- LLANTA
- COQUIMBO
- VALLENAR
- CHAÑARAL
- DIEGO DE ALMAGRO
- EL SALVADOR

SERVICIO DE ENCARGOS — MODERNOS Y COMODOS BUSES SALON/CAMA

COPIAPO: Casilla 360 - Fonos: 3050 - 2912 - SANTIAGO: Terminal Norte - Fono: 725849



# BIOTECNOLOGIA:

## Una alternativa para el desarrollo

*Dr. Carlos Salas, Profesor Bioquímica USACH, Profesor visitante U. D. A.*

Es un hecho de todos conocido que el bienestar de un país se alcanza en parte por un adecuado balance comercial y que una de las recetas para alcanzar dicho balance consiste en retornar al país más divisas que las que se necesitan para importar los bienes o materias primas indispensables para la marcha económico-social en una nación.

Chile es un país esencialmente productor de materias primas que basa su estrategia de desarrollo en los retornos generables por la venta de dichas materias primas en el mercado internacional.

En este contexto, nuestra economía puede resultar beneficiada si nuestras materias primas son exclusivas siempre y cuando haya de ellas una demanda considerable y estable en el mercado internacional.

La práctica ha demostrado que al menos en nuestro caso dicho esquema no ha dado resultado en más de una oportunidad, quedando en claro la inoperabilidad de este modelo al menos en nuestras manos.

Usando como criterio de referencia lo anterior, podría estimarse que la planificación del desarrollo económico basada en la exportación de materias primas no es un sistema eficaz, debiendo buscar entonces alternativas para la promoción eficaz de nuestro crecimiento económico.

Hace un par de años se ha empezado a advertir en nuestro medio un creciente interés por una diversificación en la naturaleza de los productos de exportación.

En general, la exportación rentable de bienes derivados en su mayoría de materias primas de origen renovable requieren de un cierto grado de tecnología *ad hoc*.

Los bienes de exportación derivados de materias primas renovables, mediante un manejo racional adecuado podrían llegar a ser elementos importantes para promover nuestro desarrollo económico en la próxima década.

A este respecto podemos señalar que Chile es un país privilegiado gracias a su geografía y climas variados, a lo cual se añade una vasta costa con una riqueza oceánica incalculable.

La existencia de características geográficas y climatológicas diversas aseguran al menos en teoría, la ocurrencia de una gama incalculable de materia orgánica viva tanto en el mundo microscópico como a niveles visibles en el mundo animal y vegetal.

En la frase anterior subrayé en teoría, puesto que la humanidad en los últimos 60 años se ha encargado sistemáticamente de destruir la flora y fauna que habita en el planeta, sin pensar que en la mayoría de los casos este daño es irreversible pues nos priva del legado de la naturaleza en su inexorable tránsito evolutivo.

¿Por qué el fenómeno de la vida puede ser trascendente a nuestro eventual desarrollo económico?

Para ello se debe tener en cuenta que como resultado de una serie de hallazgos, algunos de ellos previsible, otros de tipo fortuito el mundo científico ha visto con sorpresa que se le ha abierto una gama impensada de posibilidades de análisis en el área biológica y de su posterior utilización a nivel industrial de una variedad de estructuras vivas o subproductos de ellas, gracias al desarrollo de nuevos proce-

dimientos de auscultación de la materia viva, en fin un conocimiento del fenómeno de la vida, a nivel molecular varias órdenes de magnitud más detallado de lo que era posible conocer al promediar la década del 70 (1,2).

El secreto oculto al hombre durante mucho tiempo fue revelado en el núcleo de la célula, al conocerse que en ella existen estructuras alargadas (cromosomas) cuyos componentes (genes) están dispuestos como las perlas en un collar (3).

La calidad y la ordenación temporal de la expresión de estos genes o unidades informacionales son factores determinantes para establecer las diferencias entre especies diversas, pero también es clave para diferenciar organismos de una misma especie.

Sin embargo, no le bastó al hombre conocer esta nueva verdad, ya que a continuación se dedicó a perturbar los programas de información ya impresos en los genes, dando origen a genomios con un contenido de información distinto al de su contraparte no manipulado.

La importancia de haber cambiado la herencia en un organismo por manipulación de sus genes es sin embargo, de mayor alcance para el hombre y la naturaleza que lo que pueda sospecharse e imaginarse (3).

Constituye una transformación total en el modo de concebir el saber y sus aplicaciones, un cambio radical en la concepción del hombre. Nuevas e imprevisibles avenidas para la evolución de las especies, además de afectar en sus cimientos el desarrollo industrial en sus esquemas clásicos de producción. Además se ven afectados los sistemas de organización social y económicos, amén del cambio de valores estéticos y morales que llevan aparejados.

### LA CRISIS ENERGETICA CATALIZADOR DEL DESARROLLO BIOTECNOLOGICO.

Pero todo lo anterior no basta por sí solo, para determinar un cambio tan radical en la concepción económica vigente.

Fue además necesaria una crisis energética que en todos los frentes imaginables ha repercutido en los procesos de producción industrial.

Los analistas y en general los planificadores de procesos industriales han buscado en otras partes la solución a la demanda no satisfecha de energéticos.

La energía solar y la química figuran entre los candidatos para sustituir los energéticos convencionales. Pero un conocimiento más detallado de sus propiedades yace como una valla infranqueable para su utilización masiva como fuente de energía. En cuanto a la energía atómica nuclear, su uso indiscriminado plantea dificultades de orden técnico y medio ambiental que relegan sus usos a situaciones especiales.

Este callejón sin salida tiene un desenlace conoci-

do de todos, con el tren de consumo actual se espera agotar la fuente de combustible fósiles en una treintena de años.

El déficit actual significa que el costo unitario de los combustibles, aumenta a diario incrementando con ello el costo de cualquier producto en cuya elaboración se emplean directa o indirectamente dichos combustibles.

A la crisis derivada del déficit de combustibles se suma otro factor de importancia; lo constituye la alteración del medio ambiente por el uso indiscriminado de aquello que otrora estaba en abundancia produciendo contaminación ambiental, alteración de los ecosistemas y deterioro irreversible del medio ambiente; todo ello es una triste realidad en este momento y nos acompañará como un mudo testigo de nuestro mal manejo de los recursos naturales hasta que la especie humana desaparezca del planeta.

Como consecuencia de los factores ya mencionados se ha propuesto la elaboración de metodologías para reemplazar las técnicas convencionales de producción, usando como modelo operacional la maquinaria metabólica existente y seleccionada a través de millones de años en los organismos previamente escogidos para este efecto.

Si por el contrario la maquinaria metabólica disponible en la biblioteca de organismos vivientes fuera incapaz de resolver nuestro problema, podemos combinar funciones provenientes de distintas especies para producir una quimera para su posterior utilización en una línea de producción.

La idea es entonces sustituir total o parcialmente los métodos de producción convencionales, por otros menos onerosos cuyos subproductos no tengan un largo período de residencia tanto en la atmósfera como en la superficie del planeta.

Lo anterior puede resumirse en una palabra: Biotecnología vocablo que ha sido reacuñado, tomando en cuenta las nuevas variables que inciden en un proceso productivo industrial (2, 3, 4).

### HISTORIA DE LA BIOTECNOLOGIA

El principio biotecnología no es una disciplina nueva; los antiguos hombres hacían biotecnología al darle uso empírico a la materia orgánica para la fabricación de vinos, cervezas y pan, dichos procesos llevados a cabo con la ayuda de microorganismos fueron probablemente descubiertos de manera accidental.

Por ej. la habilidad que poseen las levaduras para fabricar alcohol en forma de cerveza era una técnica ya conocida por los babilonios 6.000 años AC. Posteriormente los egipcios descubrieron que el gas generado por ciertas levaduras sirve para dotar el pan de un carácter esponjoso.

Mucho después hacia el siglo XIV de nuestra era,

se conocían otros procesos fermentativos, para fabricar diversos compuestos químicos, ácido láctico, etc. Es evidente entonces que los microorganismos estuvieron al servicio del hombre más de 9.000 años antes que fueran oficialmente reconocidos como tales en el siglo XVII.

Hoy en día podemos resumir el rol biotecnológico de una célula microbiana mediante dos tipos de aplicaciones (5). La primera es como una fuente de proteínas, para la alimentación humana o animal, ya que las proteínas son el componente mayoritario en microorganismos. La segunda aplicación es la más importante; las células microbianas llevan a cabo procesos mediante los cuales un compuesto es transformado en otro, estructuralmente relacionado con el compuesto original (reacción química), el proceso se lleva a cabo mediante una o más enzimas, las cuales forman parte del material celular.

Los microorganismos pueden llevar a cabo cualquier transformación química y ya esto representa una ventaja sobre las reacciones químicas tradicionales.

Varias ventajas tiene una reacción biológica *viz a viz* la reacción química propiamente tal; 1) en primer lugar la reacción biológica generalmente se lleva a cabo a bajas temperaturas y presiones normales, (50°C, 760 mm Hg), por el contrario las reacciones químicas se llevan a cabo a temperaturas relativamente elevadas, con el consiguiente ahorro energético en la reacción biológica.

Sin embargo, no debe estimarse que la temperatura y/o la presión son condiciones limitantes para una eficiente biotransformación química.

Hoy en día se conoce la existencia de organismos que desarrollan su metabolismo normal a 250°C y varias atmósferas de presión.

Si algunos de los procesos que en ellos ocurren pudiesen ser de utilidad industrial, a no dudarlo sería ventajosa su utilización bajo estos términos, esto conllevaría un cambio dramático de los esquemas de producción actual.

2) La reacción biológica generalmente prescinde de catalizadores especiales y solventes de alto costo puesto que ellas se llevan a cabo en medio acuoso.

3) Las reacciones biológicas son muy específicas gracias a la maquinaria enzimática la cual permite que cada enzima catalice una sola reacción en un sitio específico de la molécula reactante. Las características anteriores permiten explicar los altos rendimientos alcanzables comúnmente en las reacciones biológicas.

4) Virtualmente, cualquier reacción química puede lograrse con la ayuda de una bacteria, de allí la importancia de la Microbiología Industrial (2).

Pero supongamos que la célula que vamos a utilizar no posea en su repertorio de funciones la reacción deseada, se puede entonces incorporar dicha función

en la célula de tal manera que la progenie derivada de esta nueva célula también posea la información *ad hoc*.

Así podríamos seleccionar variedades de microorganismos capacitados para servir de fábricas para una infinidad de sustancias químicas.

### IMPORTANCIA DE LA BIOTECNOLOGIA PARA EL DESARROLLO REGIONAL.

Con lo relatado anteriormente, es fácil imaginar como la Biotecnología pueda influenciar el desarrollo económico de una manera favorable. La estrategia para un desarrollo biotecnológico requiere de una evaluación del potencial de materias primas renovables existentes, o que pudieran existir en cada región geográfica de una nación.

Dicha evaluación debe basarse al menos en los siguientes preceptos:

- 1) Mercado mundial adecuado para el (los) productos derivados de la materia prima. Debe estimarse asimismo, la proyección a futuro para ese mercado.
- 2) Potencial regional para la puesta en marcha de la producción masiva de dicha materia prima.
- 3) Alteración de los ecosistemas como resultado de la explotación masiva de una materia prima.
- 4) Capacidad regional de gestión tecnológica y de investigación básica *ad-hoc*, necesarias para el desarrollo de las técnicas de explotación de las materias primas.

Todas estas cuestiones, deben resolverse de una manera coordinada y en forma previa a la explotación masiva del producto.

Todos estos puntos y en particular en los últimos son de una dinámica tal que requieren de una reevaluación constante, los resultados obtenidos de dicha reevaluación, permiten hacer ajustes al proceso de obtención de la materia prima y las tecnologías asociadas con los procesos de elaboración de un producto final si este existiese.

---

### BIBLIOGRAFIA:

1. La Recherche; 155, 582-794, 1984.
  2. Scientific American: Industrial Microbiology, 245, 3-226, 1981.
  3. Ercilla: 2.598, 31-32, 1985.
  4. Science: 209, 1406-1431, 1980.
  5. Biotechnology: Workshop NIH, 1983 42-324.
-



**EQUIPOS DE PERFORACION Y SONDAJES PARA LA MINERIA**

**Longyear**

- Coronas con diamantes incrustados.
- Coronas impregnadas
- Escarificadores para sacates-tigos.
- Herramientas especiales.

**SECO**

- Track drills, wagon drills, boom mecanicos.
- Montajes especiales según necesidades del cliente.

**BOART**

- Barrenas integrales Series 11, 12 y 17
- Brocas embutidas para barras de 7/8", 1"
- Brocas cruz con hilo cordel serie 1,400, HM 38, 1,600, 1700 desde 1, 1/2" hasta 4"
- Brocas de botones desde "2" hasta "5".
- Brocas para martillo de fondo (down the hole).
- Barrenas con punta cónica, culatín 4, 1/4" x 7/8".

- Barras de extensión, copias, reducciones.
- Adaptadores para todas las perforadoras de uso corriente.
- Accesorios
- Operadoras de brocas y piedras esmeril.

Disponibilidad de perforadoras para entrega inmediata y para importación directa surtido completo de repuestos ex bodega Stgo.



Representante en Chile  
**LONGYEAR CO. CHILE LTDA.**  
 Las Dalias 2900 (Ñuñoa) Teléfonos: 2215588 - 2215866  
 Telex: 94442 Santiago

# Distribuidora "O'HIGGINS"

**FERRETERIA Y MATERIALES DE CONSTRUCCION**

**Federico Neumann Osorio**

- ALAMBRE • CEMENTO • CLAVOS • PINTURAS • PIZARREÑO
- HERRAMIENTAS • CAÑERIAS • QUINCALLERIA • FITTINGS
- SANITARIOS • MADERAS CHOLGUAN • VINILIT • ENLOZADOS
- ALUMINIO Y MENAJE

MAIPU 420 - TELEFONO 2878 - CASILLA 380 - COPIAPO

**SERVICENTRO**



**PIETRO DEPETRIS E HIJOS  
 Y CIA. LTDA.**

PRODUCTOS GOOD YEAR

PANAMERICANA NORTE S/N - FONO 2917  
 CASILLA 89 - COPIAPO

# DISTRIBUIDORA "ATACAMA"

**AL SERVICIO DE LA REGION**

Casa Matriz: Atacama 266 - Fono 3319  
 Suc. Nº1: Lib. B. O'Higgins 481 - Fono 3079  
 Suc. Nº2 y Of.: Gana 451 - Fono 2683  
 Suc. Nº3: Los Carrera 479 - Fono 3061

**COPIAPO**

# MAESTRANZA VICTOR FARIAS CIA. LTDA.

- MAQUINAS
- INSTALACIONES
- PROYECTOS

Av. P. A. Cerda 7364 Teléfono 225052  
 Barrio Industrial  
**ANTOFAGASTA**

# PEDRO TRAVELLA RICHARDS

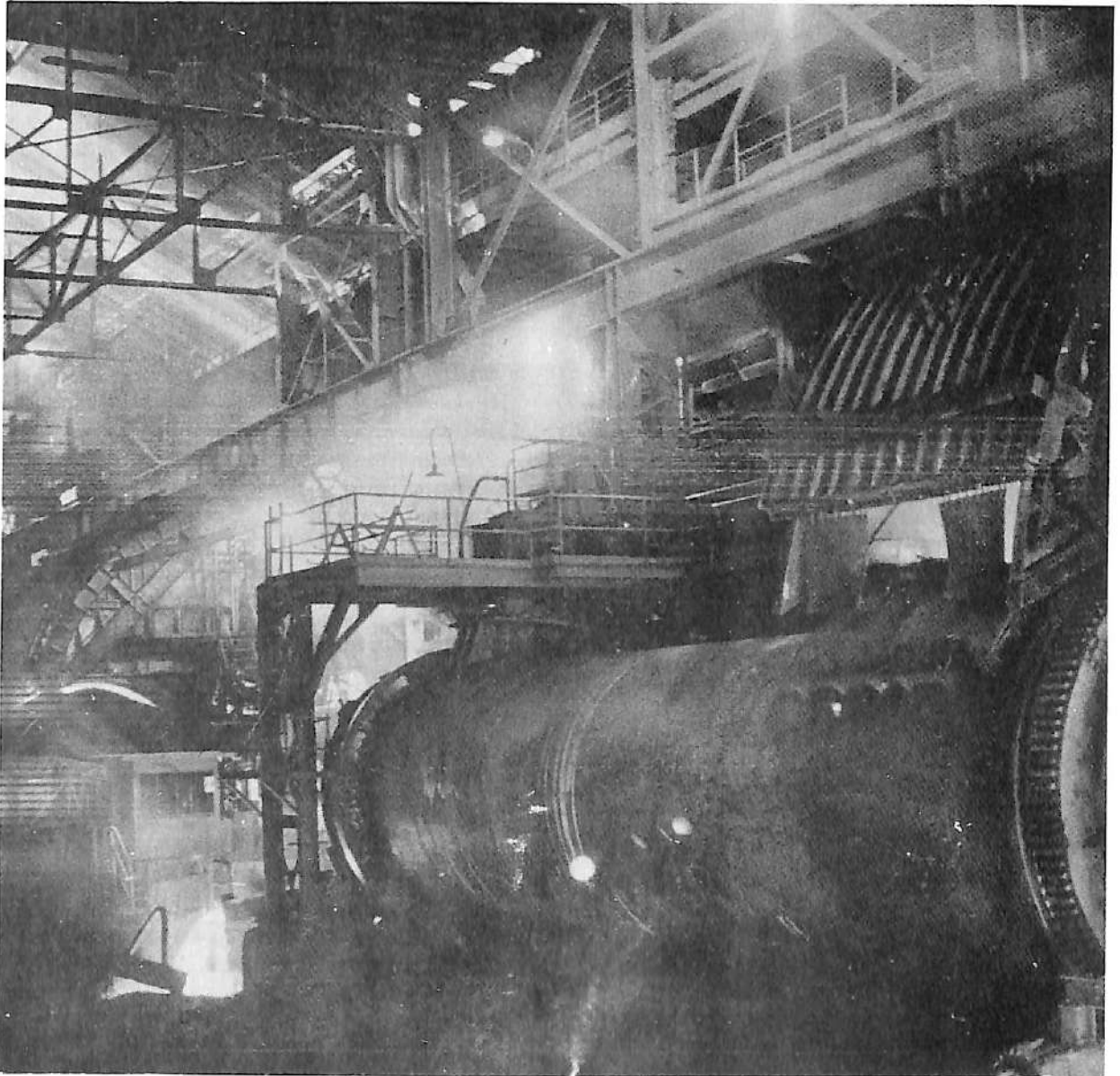


- LUBRICANTES
- REPUESTOS
- ACCESORIOS

**REPUESTOS JAPONESES**

Maipú 640 - Teléfono 2026 - Copiapó

## Uso de modelos de simulación en procesos que operan con convertidor modificado Teniente. (\*)(\*\*)



- (\*) Trabajo Presentado en la Mesa Redonda "CONVERTIDOR MODIFICADO TENIENTE" del IV congreso de Ingeniería de Minas de la Universidad de Atacama (1984).
- (\*\*) En la confección del Modelo se contó con la asesoría del Sr. Hernán Mendoza, División Chuquicamata, CO-DELCO.

## AUTORES:

SR. CLAUDIO A. DODDS. H. : Director de Proyectos División El Salvador Codelco Chile.

SR. GAMALIEL A. RIVERA : Consultor Externo.

EXPOSITOR: SR. CLAUDIO A. DODDS. H.

## RESUMEN

El objetivo del estudio es simular en forma interactiva todas las etapas de la operación en una Fundición que utiliza un Convertidor Modificado Teniente, para desarrollo, control y optimización del proceso.

La idea en la presentación de este trabajo es mostrar la potencialidad de esta herramienta de trabajo tanto para lo que significa el desarrollo propiamente tal de una fundición o también el control de proceso de ella. El modelo computacional incluye la simulación del Reverbero, CMT., Convertidor Pierce Smith y circulante.

Se realizaron validaciones del modelo con reverbero tradicional y con la operación de reverbero con quemadores oxígeno-petróleo y CMT. con oxígeno.

Los principales resultados metalúrgicos entregados por el modelo son:

- Determinación de capacidades de tratamiento de concentrado.
- Determinación de insumos y dimensionamiento de equipos (petróleo, aire, oxígeno, etc.).
- Determinación de cantidad y calidad de productos (eje, escorias, gases, metal blanco, circulante, etc.).
- Análisis de sensibilidad o parámetros de operación tales como:
  - calidad mineralógica.
  - flujo de aire el CMT.
  - concentración de oxígeno.
  - carga circulante.

Los resultados metalúrgicos y el análisis de sensibilidad, permiten optimizar el proceso para ciertas situaciones dadas, como por ejemplo:

- Alternativas de uso de diferentes combustibles disponibles (petróleo, carbón, energía eléctrica, etc.).
- Usos de diferentes tipos de fundentes.
- Cuando se cuentan con diferentes tipos de concentrados, determinar cuales son los más convenientes para tratar en una fundición con un equipamiento dado.
- Como los concentrados pueden agregarse al CMT, o reverbero, es necesario determinar en cual de estos equipos es más eficiente fundir cada tipo.

## OBJETIVOS

Construir un modelo metalúrgico que simule el comportamiento de una Fundición que opera con CMT. Su utilidad es establecer una herramienta de

análisis que permita efectuar el estudio técnico-económico del desarrollo y optimización de una fundición con un grado de precisión y detalle adecuado a tal efecto.

Además, la utilización de este modelo puede ser permanente, dado que su potencialidad permitirá efectuar lo siguiente:

- Control y planificación de la gestión de la Fundición (planes de producción, presupuesto de insumos, etc.).
- Control de proceso y de cada área productiva de la fundición.

## PROCEDIMIENTOS

A) Las etapas de estudio fueron:

- Recolección de antecedente de proceso, parámetros de operación, etc., tales como:
  - Predeterminación de la ley del eje.
  - Predeterminación de la ley de escoria.
  - Formación y reducción de  $Fe_3O_4$ .
  - Temperatura de productos.
  - Mediciones de pérdidas reales del CMT. y reverbero, etc.
  - Recolección de datos termoquímicos.
  - Procesamiento y ordenamiento de la información.
  - Construcción de un modelo de simulación de los procesos en base de balances térmicos y de materiales.
  - Validez del modelo.
- B) Descripción del modelo.

Para desarrollar el modelo metalúrgico de una fundición se definieron los siguientes centros de procesos:

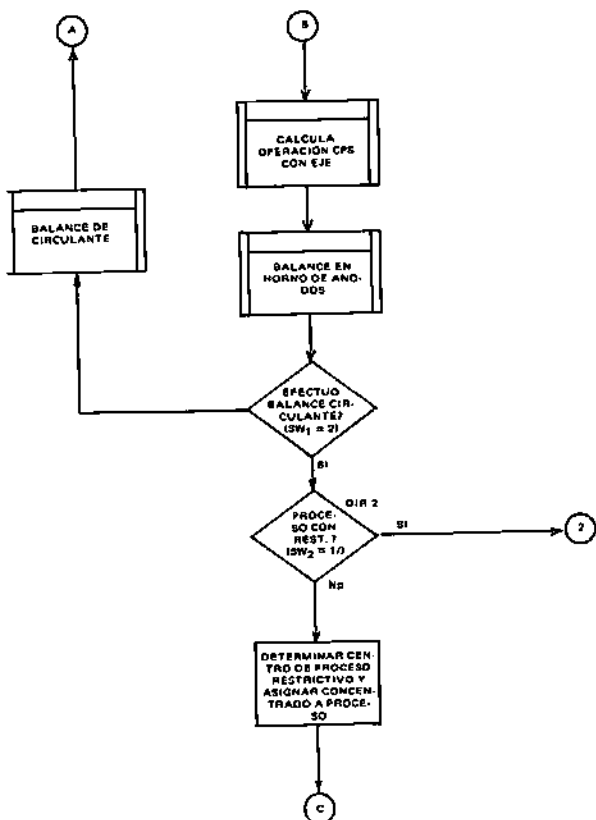
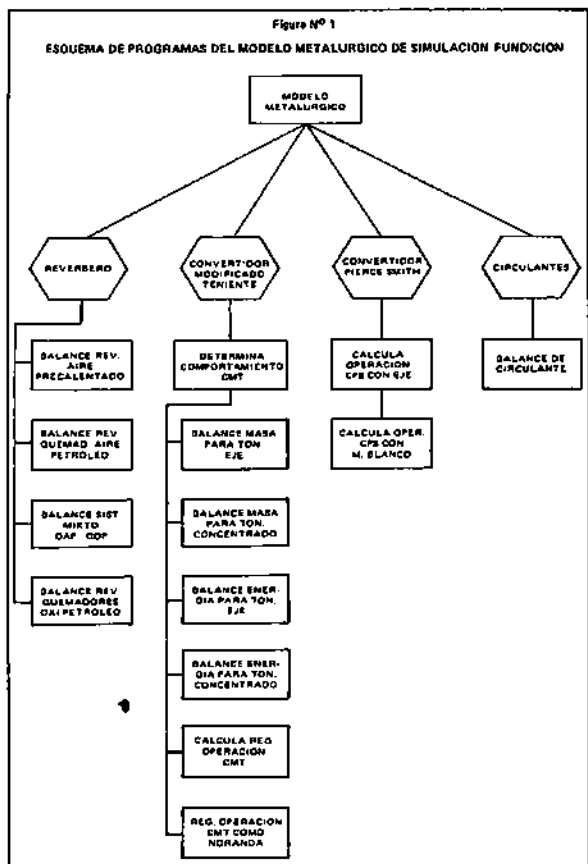
- Reverbero.
- CMT.
- Convertidores.
- Tratamientos de escorias líquidas.
- Refino y moldeo.
- Circulantes.

El modelo metalúrgico trabaja en forma interactiva en base a ajustes de tratamiento de producción y circulante. El ajuste de producción y tratamiento se hace en base a determinaciones cual es el centro de proceso restructivo, es decir, aquel centro que limita la producción.

El circulante se ajusta en base al balance de circulante y realimentando datos.

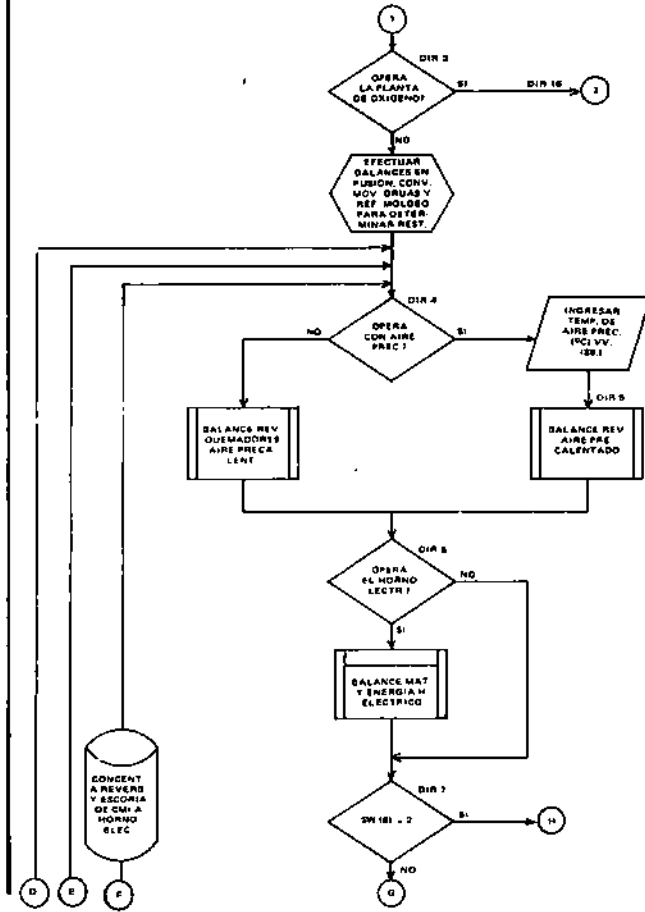
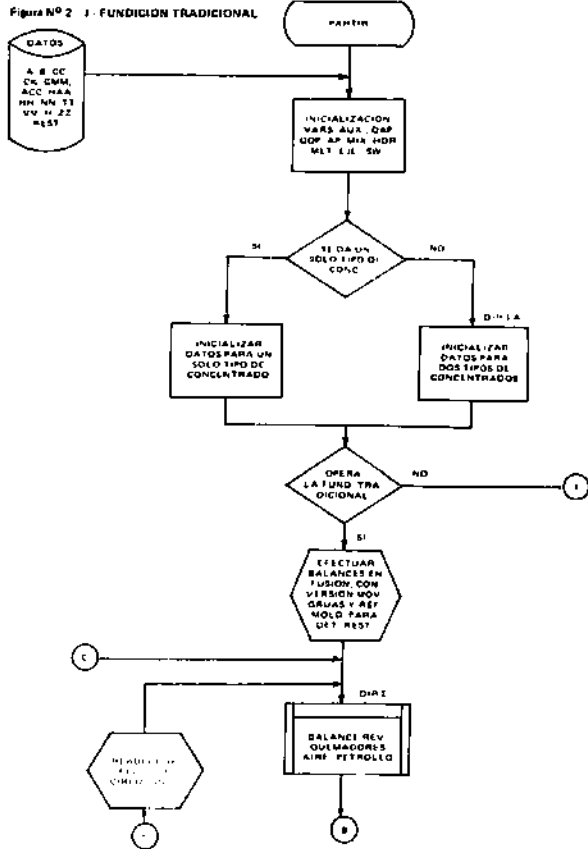
La fig. 1 muestra el esquema de programa del modelo metalúrgico por centros de procesos.

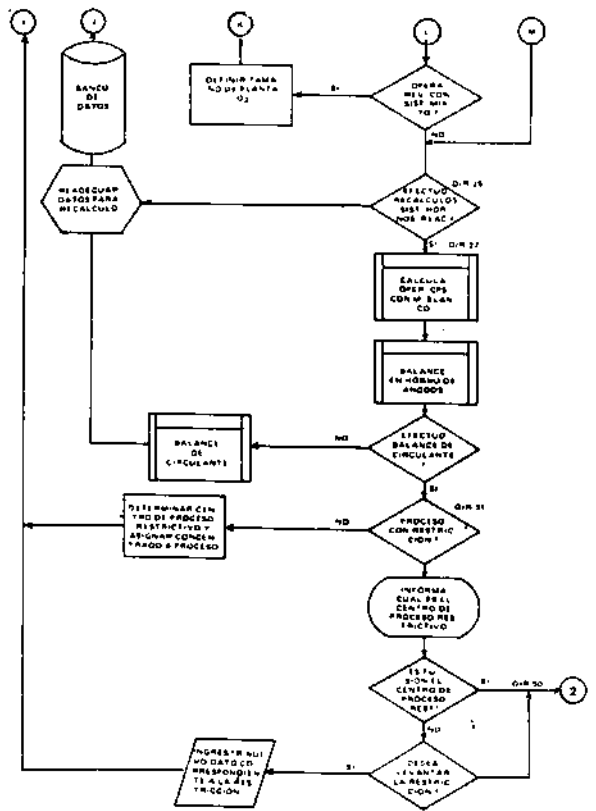
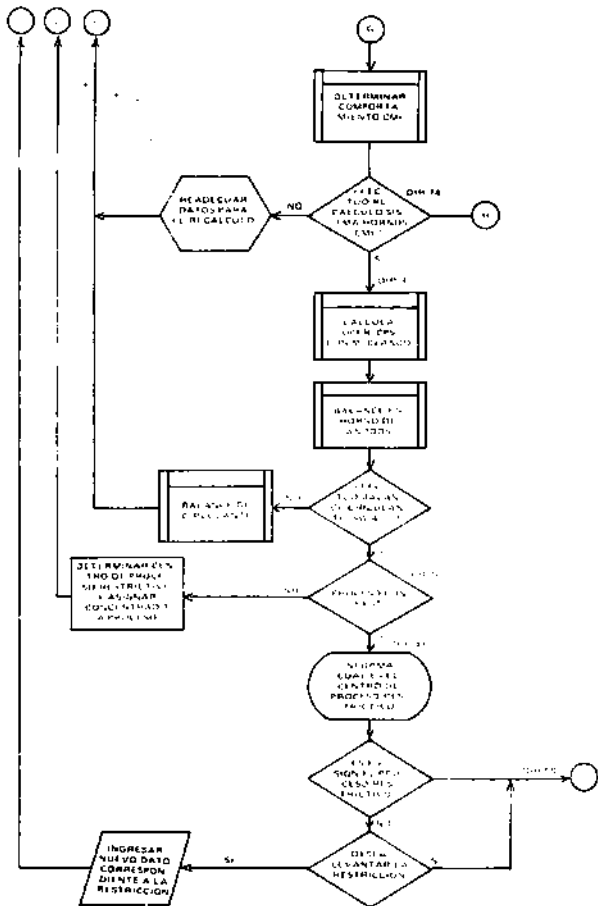
Se incluye a continuación un diagrama de flujos (Fig. N° 2) del programa que simula el comportamiento metalúrgico de una Fundición para cumplir esta fundición utiliza como subrutinas los programas que realizan los balances individuales por años de proceso. A continuación se describen en forma somera los submodelos utilizados en el modelo fundición



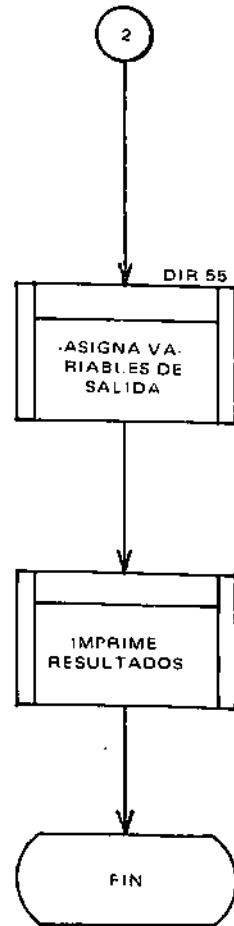
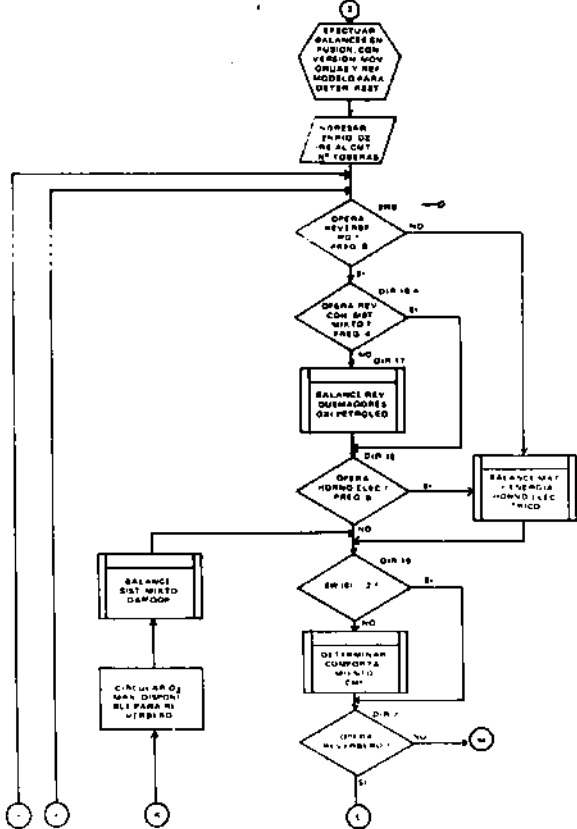
**II - FUNCIÓN DESARROLLADA SIN PLANTA DE OXIGENO**

**Figura N° 2 - FUNCIÓN TRADICIONAL**





III - FUNDICION DEBARRILLADA CON PLANTA DE OXIGENO





**RESULTADOS**

Se confeccionaron ejemplos para el presente trabajo para demostrar las bondades de esta herramienta y a su vez nos permiten realizar el estudio que anteriormente mencionaba.

En primer lugar veremos el efecto del tratamiento de tres tipos distintos de concentrados chilenos.

**INFLUENCIA DE LA COMPOSICION MINERALOGICA**

Concentrados Simulados

Tabla N° 1 "COMPOSICION MINERALOGICA"			
	A	B	C
CALCOSINA	6.2	36.0	22.4
COVELINA	3.0	3.0	1.3
CALCOPIRITA	74.0	9.0	44.1
PIRITA	10.3	39.0	9.7
BORNITA	0.3	0.3	4.5
Cu.	32.7	34.2	41.5
Fe.	27.3	20.9	19.2
S	33.7	32.6	28.7
GANGA	6.2	12.0	10.4

El concentrado A es alto en calcopirita, el B es bajo en calcopirita y el concentrado C es de un contenido medio en calcopirita. El concentrado A, B y C es bajo, alto y medio en calcosina respectivamente; y Uds. pueden observar que estas composiciones barren una buena gama de concentrados Chilenos.

El modelo de simulación considera que todo el eje producido por el Horno Reverbero es tratado en el CMT

La tabla N° 2 muestra los resultados de la simulación de este tipo de concentrado.

Allí se pueden ver las características de todos los productos e insumos entregados por la simulación, si observamos los índices totales, vemos que el concentrado tipo A es un gran consumidor de oxígeno, mientras que el concentrado tipo C es un bajo consumidor de oxígeno. Se visualiza además en lo que respecta el consumo de combustible que, a diferencia de lo que inicialmente se pensaba, el concentrado tipo A presenta un índice de consumo de combustible más alto que el concentrado tipo C, esto se debe, básicamente, a un efecto producido en el Horno Reverbero, donde la cantidad de carga sólida al Horno es bastante baja, haciendo una operación ineficiente a esos niveles de carga sólida, que implica un aumento en el consumo de combustible total de la fundición. Esta situación también se observa en el área Reverbero, donde

el consumo específico de combustible se eleva bastante.

Tabla N° 2  
INFLUENCIA DE LA COMPOSICION MINERALOGICA.  
SISTEMA CMT. CON OXIGENO Y REVERBERO CON QUEMADORES OXIGENO-PETROLEO.  
(SISTEMA LIMITADO POR UNA PLANTA DE OXIGENO DE 100 t/d).

CMT	A	B	C
Concent., t/d	551.9	532.6	579.9
Eje semilla, t/d	437.4	693.6	1054.2
Concent./eje semilla	1.26	0.77	0.55
<b>CONSUMO DE O2, t/d</b>	<b>100.0</b>	<b>101.2</b>	<b>101.6</b>
Flujo de Aire, Nm <sup>3</sup> /Min.	538.1	541.4	543.2
<b>REVERBERO</b>			
Concentrado, t/d	384.2	737.2	1069.4
Circulante, t/d	185.9	212.2	302.0
Combustible, t/d	39.78	57.25	75.36
Carga sólida, t/d	547.6	980.7	1416.7
k comb/t carga	72.7	58.4	53.1
Oxígeno, t/d	141.1	202.9	267.0
Ley eje, %	44.1	48.5	52.9
<b>TOTALES</b>			
Concent., t/d	940.5	1267.7	1649.5
Oxígeno, t/d	241.7	304.1	368.6
Producción Anodos, t/d	291.0	417.6	657.6
% de Concent., a CMT	58.7	42.0	35.2
kg. O <sub>2</sub> /t. de Anodo	830.6	728.2	560.5
kg. Comb/t de Anodo	136.7	137.7	114.6
Nm <sup>3</sup> aire/t de			

A continuación se verá otro ejemplo, y que se refiere a la cantidad de aire soplado en el CMT.

Tabla N° 3  
SENSIBILIDAD DEL SISTEMA A LA CANTIDAD DE AIRE SOPLADO.  
SISTEMA CMT. SIN AIRE ENRIQUECIDO Y REVERBERO TRADICIONAL

Resumen de Datos entregados por la simulación					
CMT	26	28	30	32	33
N° Toberas	26	28	30	32	33
Conc., t/d.	87.8	101.6	116.1	130.2	140.8
Eje semilla, t/d.	554.1	585.4	617.7	647.9	661.3
Razón Concen./Eje	0.16	0.17	0.19	0.20	0.21
<b>REVERBERO</b>					
Concen., t/d.	580.7	622.5	654.7	685.9	685.8
Circulante, t/d	125	133.2	141.5	148.7	153.7
Carga Total, t/d	739.3	780.7	822.5	863.1	880.6
Combustible, t/d	82.0	95.8	103.0	11.1	114.1
Escoria CMT., t/d	342.0	385.9	389.9	413.4	425.7
k Comb./t carga	124.4	122.7	125.2	128.7	130.3
<b>TOTALES</b>					
Total Concen., t/d	678.3	724.3	802.2	818.1	839.4
k Comb./t concen.	135.6	132.2	128.4	136.1	136.1

De la tabla vemos que a medida que sube el aire introducido, incrementando a través del aumento del número de toberas, aumenta el tratamiento de concentrado, pero lo más importante es el incremento positivo de la relación eje/concentrado, que se explica, aumenta su eficiencia térmica respecto a las pérdidas de este, lo que se refleja en un aumento de esta relación.

Se observa además que el consumo de combustible en los índices totales, tiene una baja en la tobera N° 30 y después vuelve a subir, la explicación esta referida al Horno Reverbero que tiene un consumo fijo de combustible y, principalmente en esa posición esta trabajando en su rango de mayor eficiencia.

Podemos observar, y este es un tema que me refiere al término de la exposición, que la escoria de retorno al horno reverbero aumenta considerablemente, lo mismo sucede con las circulantes, que es un elemento bastante delicado en una fundición que se opera con CMT., debido a que tiene bastante incidencia en la ley del eje. A mayores cantidades de circulante al horno Reverbero se produce un aumento de la ley del eje y debido a este sistema se produce una disminución en la fusión por este concepto en el CMT. aspecto que no deja de ser importante y significativo en una fundición que opera con este tipo de convertidores, especialmente cuando se tiene en operación un Horno Reverbero tradicional.

Tabla Nº 4  
EFECTOS DEL ENRIQUECIMIENTO DE OXIGENO EN EL CMT. SISTEMA CMT. CON AIRE ENRIQUECIDO Y REVERBERO CON QUEMADORES OXIGENO-PETROLEO (SE MANTUVO CONSTANTE EL NUMERO DE TOBERAS EN OPERACION)

Resumen de Datos entregados por la simulación				
Enriquecimiento %	24	26	28	30
<b>CMT.</b>				
Concen., t/d	385.3	499.4	613.1	726.4
Eje semilla, t/d	886.8	824.4	782.3	700.7
Consumo de O <sub>2</sub> , t/d	49.0	81.6	114.2	149.7
Aire soplado, t/d	847.5	629.3	610.6	592.1
Razón concen./eje k O <sub>2</sub> /t. concen.	0.43	0.61	0.60	1.04
k O <sub>2</sub> /t. concen.	71.5	163.3	166.3	202.0
<b>REVERBERO</b>				
Concen., t/d	992.0	898.5	805.5	713.3
Circulante, t/d	233.3	234.8	238.7	239.0
Carga sólida total, t/d	1265.8	1170.7	1078.7	983.6
Escoria CMT., t/d	580.0	528.4	483.3	423.5
Oxígeno, t/d	245.5	231.2	217.1	202.9
k Comb./t. carga	54.74	55.69	65.9	59.2
Circulante carga %	18.4	20.0	22.0	24.30
<b>TOTALES</b>				
Concen., t/d	1377.3	1397.9	1418.6	1439.7
Oxígeno, t/d	294.5	312.8	331.3	349.6
k Comb./t. concen.	50.3	46.67	43.15	39.77
k O <sub>2</sub> /t. concen.	213.8	223.8	223.5	242.9
NM <sup>3</sup> /t. concen.	589	564	539	515

El enriquecimiento del aire con oxígeno va desde 24% a 30%, produciendo un aumento en el concentrado a tundir y una baja en la necesidad de eje semilla y, la razón concentrado/eje, en consecuencia tiene un aumento significativo. También se puede observar en el parte inferior del cuadro cierto índice de interés, como el consumo específico de combustible que baja en forma notoria y el consumo de oxígeno sube, pero no lo hace en forma acelerada; y el consumo de aire baja.

En el área reverbero podemos observar que el consumo específico, uno de los insumos importante, sube, esto se debe por un efecto bien sencillo; a medida que aumentamos el enriquecimiento del aire decrece la cantidad a fundir en el Reverbero, por lo tanto, también disminuyen su eficiencia debido a que su pérdida térmica se mantiene prácticamente constante, pero realizando el balance total de la fundición se tiene una disminución significativa del consumo del combustible.

El hecho de aumentar el enriquecimiento en oxígeno

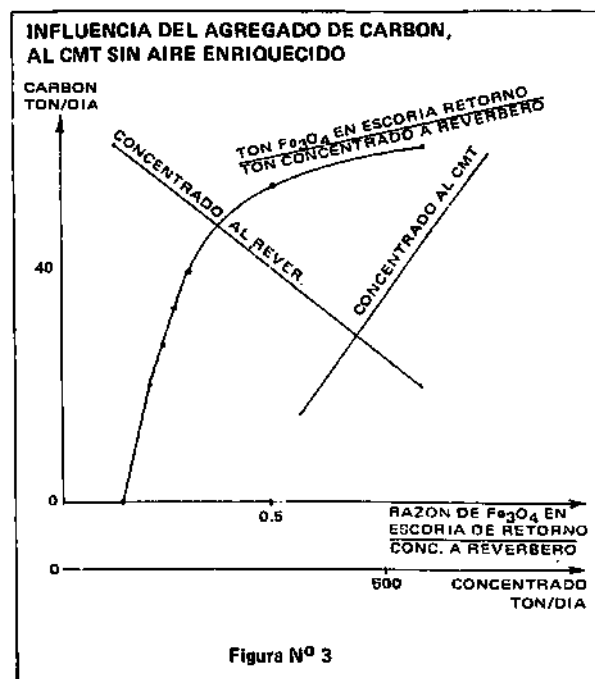
no al aire del CMT., no implica que la fundición tenga como resultado final un aumento en el tratamiento de concentrado, lo que si se obtiene es que decrece significativamente el tratamiento en el Reverbero y, se acentúa en el CMT.

Por lo tanto, nosotros estimamos que el camino para tratar más concentrado en una fundición que opera en la modalidad con la cual se están simulando los resultados, no es a través de aumentar el enriquecimiento, sino, la cantidad de aire enriquecido, en este caso el número de toberas al CMT.

## NOTA:

Los valores aquí mostrados, son considerando una eficiencia de combustión del carboncillo de 90%. Posteriormente se tuvo conocimiento de un informe de la Kennecott en que se informaba que éste es de 65%, por lo que estos valores sirven sólo para ver tendencias.

Las tendencias se visualizan en gráfico de la Fig. Nº 3.



Realizamos esta simulación; porque aparentemente la herramienta o el camino de introducir una cierta cantidad de carbón al CMT. Permitiría cierta ventaja y, a través del estudio que hemos realizado, pudimos darnos cuenta de que no son tales, y que se debe tener bastante cuidado con este tipo de adición en un CMT. que opera con aire, y con un Horno Reverbero que opera en forma tradicional. Si Uds. observan que al ir aumentando la cantidad de carbón (que está expresado en toneladas/días), la cantidad de concentra-

**Tabla N° 5**  
**ANALISIS DEL USO DE CARBONCILLO EN EL CMT. SIN OXIGENO Y REVERBERO TRADICIONAL**  
**RESUMEN DE DATOS ENTREGADOS POR LA SIMULACION**

Carboncillo, t/d	25	30	35	40	45	50	55	60
<b>CMT.</b>								
Concen., t/d	411,1	457,1	502,6	547,3	590,3	628,6	651,1	701,7
Eje semilla, t/d	574,8	504,9	437,4	369,2	301,6	235,5	175,5	102,4
Razón Concen./eje	0,72	0,9	1,15	1,48	2,0	2,7	3,7	6,5
<b>REVERBERO</b>								
Concen., t/d	558,6	476,2	349,0	312,5	232,1	153,7	80,3	27,4
Comb., t/d	93,2	84,5	75,4	67,0	58,4	50,1	42,4	34,3
Ley Cu en eje, %	45,3	45,5	45,8	46,2	46,9	48,2	51,2	54,5
Carga sólida, t/d	754	660	567	475	385	298	226	118
Circulante, t/d	171	163	155	147	140	135	139	87
k Comb./t., carga	124	128	133	141	152	168	188	291
Escoria CMT., t/d	508,8	493	475	456	434	406	365	374
<b>TOTALES</b>								
Concen. total, t/d	969,7	933,3	851,6	859,8	822,4	782,3	731,4	729,1
<b>NOTA:</b>								
Los valores aquí mostrados, son considerando una eficiencia de combustión del carboncillo de 90%. Posteriormente se tuvo conocimiento de un informe de la Kennecott en que se informaba que éste es de 65%, por lo que estos valores sirven sólo para ver tendencias.								
Las tendencias se visualizan en gráfico de la Fig. N° 3.								

do aumenta considerablemente y el eje semilla decrece, de igual forma la razón al disminuir la cantidad de eje necesitado por el CMT. decrece el tratamiento en el Horno Reverbero, y a su vez aumenta considerablemente la relación escoria de retorno. Respecto a la carga del Reverbero este es un aspecto que también analizaremos en forma detenida. Cuando se trabaja con un Horno Reverbero tradicional, debido a que este tiene una cierta capacidad de reducción de magnetita, capacidad que si se sobrepasa se tiene el efecto por todos conocido "embancamiento", implicando mayores pérdidas de cobre en la escoria final.

Por ejemplo, sabemos que en un Horno Reverbero que opera con quemadores Aire-Petróleo ó Aire Pre-calentado, se tiene una capacidad de reducción de magnetita del orden del 20%, no así en Horno Reverbero, que opera con oxígeno cuya capacidad de reducción es del orden del 40%.

Además el Horno Reverbero tradicional tiene una capacidad de asimilación de magnetita de más de 90 a 100 toneladas/días. El hecho de aumentar el circulante líquido como lo sólido al Horno Reverbero hacen aumentar la ley del eje, al aumentar la ley del eje hay menor cantidad de magnetita, por lo tanto se disminuye por ese efecto la eliminación de magnetita vía conducto. Por otro lado, estamos agregando una mayor cantidad de magnetita en las escorias del CMT, pudiendo llegarse a un cierto límite donde el Horno

Reverbero no sea capaz de eliminar o producir la magnetita; mantenerse en un equilibrio de lo contrario producen los problemas por todos conocidos.

En la Fig. N° 3 se observa más fácilmente este fenómeno. Tenemos que al aumentar la cantidad de carbón adicionada en la carga al CMT. vemos que el concentrado al Horno Reverbero disminuye y el concentrado alimentado al CMT. aumenta, pero la relación magnetita/concentrado en el Horno Reverbero también se incrementa en forma bastante acelerada al comienzo, para ir disminuyendo posteriormente. Ahora bien, esta modalidad de aumentar la capacidad de combustible debe ser tomado con bastante cuidado y delicadeza.

Las fundiciones, como las Ventanas, que están operando con un CMT. con aire tendrán la oportunidad o posibilidad de chequear estos parámetros. lo cual a nuestro entender son bastante significativos en una Fundición en la forma que lo hemos simulado.

#### CONCLUSIONES:

El modelo de simulación de una fundición con CMT., permite analizar la potencialidad del sistema, determinar la sensibilidad a diferentes parámetros.

El modelo como tal es de uso general, sin embargo para obtener resultados confiables debe existir un conocimiento previo de las limitantes específicas de ca-

## avances en minería

MODELOS METALURGICOS		
AREA DE PROCESO	OBJETIVOS Y CONDICIONES	PRINCIPALES RESULTADOS
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Balance de Mat. y Energía en Rev.</li> <li>- Rev. operando con QAP (Situación actual)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacidad de Fusión</li> <li>- Producción de eje</li> <li>- Calidad de eje</li> <li>- Calidad de gases</li> <li>- Consumo de Combust. y Combur.</li> </ul>
REVERBERO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Balance de Mat. y Energ. Rev.</li> <li>- Rev. Operando con QAP y Aire Precautado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Idem anterior</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Balance de Mat. y Energ. Rev</li> <li>- Rev. Operando con QOP.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Idem anterior</li> <li>- Además, consumo de O2</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Balance de Mat. y Energ. Rev</li> <li>- Rev. Operando con QOP y QAP. (Sistema Mixto)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Idem anterior.</li> </ul>
CIRCULANTES	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Balance Másico de Circulante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cantidad y calidad de Circulante en proceso.</li> </ul>

MODELOS METALURGICOS		
AREA DE PROCESO	OBJETIVOS Y CONDICIONES	PRINCIPALES RESULTADOS
CONVERTIDORES PIERCE-SMITH	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Balance de materia en CPS que operan con eje de Reverbero.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Producc. Blister</li> <li>- Tiempos de soplado</li> <li>- Requerim. Fundente</li> <li>- Escoria y Gases</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Balance de Materia en CPS que operan con metal Blanco del CMT.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Idem anterior.</li> </ul>
FUNDICION	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interrelaciona todos los modelos anteriores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Determina restric. del proceso.</li> <li>- Determina comportamiento de la Fundición.</li> </ul>
RESULTADOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Emitir resultados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Informa resultados metalúrgicos relevantes de la Fundición.</li> </ul>

MODELOS METALURGICOS		
AREA DE PROCESO	OBJETIVOS Y CONDICIONES	PRINCIPALES RESULTADOS
CONVERTIDOR MODIFICADO TIPO TENIENTE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Balance Unitario de Masa de Eje al CMT.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cantidad y Calidad de Met. Blanco, Escoria, Gases e Insumos.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Balance Unitario de Masa de Concentrado al CMT.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Idem anterior.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Balance Unitario de Energ. de Eje Semilla al CMT.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requerimiento Energético para el eje Semilla al CMT.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Balance Unitario de Energ. de Concent. al CMT.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requerimiento Energético para el Concent. al CMT.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Balance Global de Mat. y Energía en CMT.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concentrado y Eje requerido</li> <li>- Comburente (Aire y O2)</li> <li>- Met. Blanco, Esc., Gases.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Balance Global de Mat. y Energía en CMT. actuando como R. Noranda</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concentrado tratado</li> <li>- Comburente (Aire y O2)</li> <li>- Combustible requerido</li> <li>- Met. Blanco, Esc. y Gases.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interrelaciona los Modelos Anteriores.</li> </ul>	

da caso y el valor real de determinados parámetros, ya que muchos de ellos a la fecha, aún no han sido cuantificados.

Bueno esto es lo que nosotros como División de Codelco-Chile, hemos querido mostrar en forma muy concisa. El uso de estos modelos de simulación no van a solucionar todos los problemas, pero permitirán estudiar el proceso Teniente, analizando muchos factores que inciden en la producción y por ende en el proceso de fusión.

**PREGUNTAS.**

**MODERADOR: SR. ANTONIO LURASCHI.**

Se pueden realizar preguntas por parte de los miembros del panel y de la Asamblea.

**SR. GALVARINO VERA.**

¿Aquí no se menciona para qué tamaño de reactor se hizo este modelo?

**SR. CLAUDIO DODDS.**

El tamaño del reactor es el que se está instalando en Potrerillos, de 13 pies de diámetro y 17 m. de largo, respectivamente.

**SR. JORGE ARRIAN.**

Dentro de la simulación que Uds. efectuaron, me gustaría saber el sistema Horno Reverbero - CMT. ¿Cuántos convertidores convencionales en servicio contempla?

**SR. CLAUDIO DODDS.**

En nuestro caso, operando en la modalidad CMT. con aire, contempla un solo convertidor convencional operando.

**SR. SERGIO DEMETRIO.**

La razón, escoria de retorno como magnetita a concentrado, ¿Cómo lo expresan?

**SR. CLAUDIO DODDS.**

Se expresa en toda la magnetita ingresada respecto a la magnetita eliminada.

**SR. SERGIO DEMETRIO.**

¿Hay un 20% que se elimina?

Que se reduce. Estos datos fueron chequeados de experiencias en Hornos Reverberos tradicionales del país.

Hornos Reverberos nuestros, de ENAMI, y en la parte Reverbero con oxígeno se chequeó en Teniente y nos indicó que la reducción es del orden del 40%.

**SR. CLAUDIO QUEIROLO.**

El uso del carbón en el CMT escapa al concepto del proceso y la licencia. Referente al modelo de Uds.

¿Analizaron el efecto de impureza con algún modelo?

¿Cuál es la situación del arsénico en el concentrado, su influencia al tratado en el CMT?

**SR. CLAUDIO DODDS.**

El asunto del arsénico no lo tratamos con bastante profundidad, en realidad no era nuestro problema, los concentrados que se pretenden tratar, no tienen ese problema, pero, no ahondamos mayormente en este aspecto, luego no podría contestarte esa pregunta.

**SR. GABRIEL RIVEROS.**

¿El modelo que Uds. están planteando sólo considera tratar metal blanco en el convertidor tradicional y no eje?

**SR. CLAUDIO DODDS.**

Correcto.

**SR. GABRIEL RIVEROS.**

¿No hay interacciones entre ambos, por ejemplo, en un momento cargar metal blanco y eje?

**SR. CLAUDIO DODDS.**

No se consideró esa alternativa, se consideró que todo el eje producido en el Horno Reverbero será consumido por el CMT. Eso basado radicalmente es que si nosotros queremos tener índices de consumo de combustible significativamente más bajos debemos disminuir la importancia del Horno Reverbero como elemento fundidor y aumentar lo del CMT.

**SR. HUMBERTO ILLANES.**

Volviendo al modelo del uso del carboncillo en el CMT, creo que los últimos términos de 55-60 toneladas, si bien es cierto este es un modelo, no corren en la práctica para el tamaño del CMT que Uds. están proyectando; porque creo que no hay sistema de campaña de captación de gases que soporte la temperatura que se genera y que salen por el ducto del convertidor.

**SR. CLAUDIO DODDS.**

Tiene toda la razón, lo que sólo nosotros hicimos es simular, a modo de simular qué pasaría con esos niveles; indudablemente ahí mismo en el trabajo nosotros decimos que para ciertos niveles de tratamiento de carbón, el Horno Reverbero se descarga a tal cantidad que escapa a lo que en este momento se conoce, Tiene un comportamiento impredecible a esos niveles, por lo tanto, los niveles altos de tratamiento de carbón que aparecen en la simulación hay que tomarlos solamente como una forma de mostrar el efecto.

**SR. SERGIO DEMETRIO.**

Como consideraron Uds. la competencia en este

modelo del oxígeno por el carbón y por el azufre, porque indudablemente si tú agregas más carbón vas a tener una mayor competencia por el oxígeno y, el oxígeno pasaría a ser el elemento escaso de este reactor, pero si bien es cierto te genera calor, esto implicaría que todo el tiempo de sangría y cosas por el estilo, pasarán a tener de hecho un metal blanco más bajo; o sea un eje de alta ley solamente, lo que significaría agregar menos eje a la vez. Es decir, ¿Cómo analizaron o no lo analizaron?

### SR. CLAUDIO DODDS.

En realidad ese aspecto se visualizó, pero no lo profundizamos, porque como nos planteábamos recientemente, hay muchas interrogantes. Respecto a este fenómeno, interrogantes que de acuerdo a los antecedentes que nosotros, buscamos, no encontramos respuesta para ese tipo de preguntas; por lo tanto, fue una inquietud inicial y tuvimos que dejarla de lado por no tener los elementos y ni el tiempo para poder resolverla.

### SR. ANTONIO LURASCHI.

Yo creo, que se debería agregar también a lo recientemente discutido el uso del carboncillo y los resultados que arroja este modelo, que por la suposición básica que se hizo sobre que el metal blanco solamente se trata en los convertidores convencionales y no eje los resultados del modelo están determinados por esa suposición, de manera que eso es lo que constituye la razón porqué a medida que se va aumentando el carboncillo se va decreciendo el concentrado alimentado al reverbero, entonces eso no sería válido en el caso de que no se haga esa suposición, que es el caso más normal, porque el CMT se utiliza como un medio de aumentar la producción, por lo tanto, si hay más concentrado tanto mejor.

### SR. CLAUDIO DODDS.

Correcto, normalmente la tendencia es colocar un CMT y tener como resultado un aumento en el tratamiento en una fundición, pero no hay que olvidar que el hecho de instalar un CMT consume bastante más aire y eso nos limita la capacidad de conversión, en este caso no solamente significaría colocar un

CMT, sino que habría que considerar lo que respecta a la capacidad de soplado.

Ahora la tendencia, y para eso se ha colocado un CMT, es bajar en forma significativas los consumos de combustible de la fundición, por lo tanto, si estamos llegando a la práctica de procesar una cierta cantidad de concentrado en el Horno Reverbero que produzca una cantidad excedente de eje que sea a su vez tratado en un convertidor tradicional, nos estamos en cierta forma apartando de ese objetivo básico.

### SR. CLAUDIO DODDS.

Eso es consistente con los objetivos que se fijó la fundición de Potrerillos. Pero en otros casos los objetivos son aumentar fuertemente la producción, es decir, son distintas posiciones.

### SR. JORGE ARRÍAN.

Dentro de un resumen de datos, se establecen los efectos del enriquecimiento con oxígeno en el CMT, en un sistema con Reverbero con quemadores oxígeno-petróleo, se puede apreciar a medida que aumentamos el enriquecimiento de oxígeno en Reverbero está generando un mayor porcentaje de circulante y una de las situaciones que contempla el modelo es un balance de circulante; la pregunta mía va orientado a, cuál sería específicamente el beneficio del circulante y en qué parte se va a lograr, si nosotros consideramos que de acuerdo a lo que se ha dicho acá los convertidores en servicio soplarían a cobre solamente y no habría situaciones mixtas de convertidores con eje.

### SR. CLAUDIO DODDS.

La situación se ha considerado de que todo el circulante nosotros hablamos de circulante a los materiales con bajo contenido de cobre que retornan al Reverbero y llamamos carga fría a los materiales de alto contenido de cobre que se tratan en convertidores tradicionales, la situación se ha planteado de esa forma, es decir, todos los circulantes se tratarán en reverbero y la carga fría va a seguir siendo tratada en los convertidores tradicionales, que según nuestros cálculos, la carga fría que se va a generar será tratada en los convertidores tradicionales y en la etapa de soplado a cobre. Hay que considerar que ésta carga fría contiene del orden de 55 a 60% Cu.

# TRATAMIENTO HIDROMETALURGICO DE CONCENTRADO DE BAJA LEY DE TUNGSTENO (\*)



*Julia Licao T.  
Prof. Jornada Completa  
Depto. Ciencias Básicas  
Universidad de Atacama*



*Luis Valderrama C.  
Prof. Jornada Completa  
Depto. Metalurgia  
Universidad de Atacama*

El beneficio de los minerales de tungsteno, ya sea scheelita ( $\text{CaWO}_4$ ) o Wolframita ( $\text{FeWO}_4$ ) o mezcla de éstos, se ha llevado a cabo, casi exclusivamente, por concentración gravitacional seguido por la limpieza del concentrado para alcanzar un grado de ley comercial. Estos procesos deben adaptarse a las características del mineral específico y la calidad de los productos obtenidos debe ser adecuada para las aplicaciones particulares de cada consumidor, de tal forma que el beneficio debe ser adecuado tanto para los productores. Ambos deben discutir las especificaciones que se exigirán a los concentrados.

La mayoría de las menas de tungsteno explotadas a la fecha o, las que lo serán en el futuro, son de baja ley. Para alcanzar las especificaciones del mercado (sobre 65% de  $\text{WO}_3$ ) se debe concentrar a una razón, aproximadamente, de 125:1. Por lo tanto las recuperaciones en estos procesos son bajas.

Es evidente que una porción significativa de las ofertas futuras de tungsteno deberán provenir de depósitos de baja ley. Es igualmente evidente que las operaciones exitosas y provechosas de estos futuros proyectos, en un mercado errático de tungsteno, requerirán la mejor tecnología posible, con el fin de optimizar dichos procesos.

En los últimos años se han considerado procesos para flotar el mineral en forma global y combinaciones de procesos gravitacionales y de flotación, con el propósito de aumentar la recuperación en desmedro de la ley de concentrado (30% a 40% de  $\text{WO}_3$ ).

Estos concentrados posteriormente son convertidos químicamente a paratungstato de amonio o scheelita o bien, se aumenta la ley mediante una lixiviación ácida de algunos de los constituyentes solubles de la ganga, con el fin de convertir estos concentrados de scheelita y wolframita a polvo de tungsteno de alta pureza.

Algunas de estas técnicas se están usando en forma

industrial en la actualidad. El método que se preferirá para una planta en particular, dependerá de las características del mineral alimentado a la planta, contenido de  $\text{WO}_3$  y pureza del concentrado, composición de la ganga y si hay uno o bien más tipos de concentrados.

Este desarrollo ha estado estrechamente ligado a las situación del precio del tungsteno y a la inflación continúa de los costos de producción. Así, compañías norteamericanas han creado plantas totalmente integradas que ha tratado concentrados de baja ley a fin de mantener durante la flotación, las pérdidas lo más bajas posibles.

Esta tendencia se ha hecho evidente desde que la Unión Carbide (U.S.A) puso en producción su planta integrada de concentración y conversión a APT, en 1969. Otras compañías han seguido esta tendencia y algunas de ellas se indican en la Tabla N° 1.

Tabla N° 1 PLANTAS INTEGRADAS DE TUNGSTENO		
Compañía	Ubicación	Fecha puesta en marcha
KTMC (San Dong)	Korea (R.O.K.)	1972
Wolfram Bergbau Mittersill	Austria	1977
Zing Zong	China	19----
Amex	Canadá (NTW)	1980
General Electric (Springer Mine)	U.S.A. (Iowa)	
	U.S.A. (Nevada)	1982

La importancia de este cambio es fácil de comprender ya que está estrechamente relacionado con la

(\*) Trabajo presentado en la Primera Jornada del Tungsteno, Universidad de Atacama, 1985.

pureza requerida de la materia prima para la producción metalúrgica de polvo de tungsteno, aleaciones de tungsteno y carburos cementados. Por eso, las especificaciones de la pureza, han sido incrementadas constantemente.

Como referencia se puede citar que, en 1960, las tolerancias para las impurezas en la materia prima para la producción de carburo cementado variaba entre 500 y 100 ppm. Las especificaciones, en los últimos años, han disminuído el nivel de impurezas, de 50 a 10 ppm.

Es decir, no hay duda que estos requerimientos rígidos en cuanto a las especificaciones de pureza, están asociados con los progresos notables en la fabricación y calidad de productos de tungsteno. Un ejemplo de esto es el desarrollo del sinterizado —indirecto de compactos de tungsteno, el cual no habría sido posible sin la pureza mejorada de la materia prima.

Obtener un trióxido de tungsteno de 99% de pureza a partir de concentrados de scheelita (cuyo contenido de  $WO_3$  puede variar entre 30% a 75% dependiendo de cómo es producido el concentrado) es un gran problema que presenta, al menos, dos grandes obstáculos para el metalurgista: primero, debe encontrar alguna forma de separar el calcio presente en la scheelita de tal forma que aumenta el contenido de tungsteno en el mineral y, segundo, debe procesar el mineral enriquecido para poder separar las otras impurezas (silicio, hierro, azufre, molibdeno, aluminio, etc.).

El proceso más frecuente empleado para llevar a cabo las operaciones de separación de calcio y de impureza, consiste en someter el concentrado a un proceso que puede considerarse formado por tres etapas:

1.- Conversión de los compuestos insolubles de tungstato de sodio soluble. Esto puede llevarse a cabo de tres formas:

- a) Tuesta con carbonato de sodio
- b) Digestión a presión con carbonato o hidróxido de sodio
- c) Lixiviación con ácido clorhídrico para producir ácido tungstico insoluble y posterior lixiviación con hidróxido de sodio.

2.- Purificación de la solución de tungstato de sodio impura. Este paso incluye la separación de los iones sodio introducidos por los diferentes reactivos y además, la separación de trazas de elementos extraños, la mayor parte de los cuales ya ha sido separada. La purificación puede realizarse mediante alguna de las siguientes formas:

- a) Purificación por precipitación mediante diferentes reacciones de precipitación. En esta etapa, se separa la mayor parte de los elementos solubles contenidos en el concentrado.
- b) Extracción por solventes. Se realiza una purificación de la solución, obteniéndose otra de tungstato

de amonio.

3.- Producción de un compuesto sólido de tungsteno a partir de la solución purificada, mediante cristalización y posterior reducción a polvo de tungsteno.

La Universidad de Atacama, en el marco de su política de extensión y proyección a la comunidad, da a conocer, en esta primera jornada del Tungsteno, una investigación de tecnología aplicada al beneficio de concentrados de tungsteno, entregando un aporte a la actividad mineral de la Región de Atacama.

La explotación de yacimientos de tungsteno y la producción de concentrados obtenidos principalmente, por concentración gravitacional, ha sido relativamente esporádica en nuestro País.

Se puede citar, a nivel regional, la explotación de 100 toneladas de concentrado de scheelita por la compañía Minera VASOK en 1979, comercializados a través de un poder comprador existente en un país extranjero.

Por otra parte, la posibilidad de explotar, los yacimientos de tungsteno, en términos rentables es mínima por la tecnología existente, las mayores leyes y menores niveles de impurezas exigidos.

En Tabla Nº 2 se indican las características que deben presentar los concentrados de scheelita y wolframita para ser comercializado en los Estados Unidos.

	SCHEELITA		WOLFRAMITA	
	Pocho de Carburo %	Metal %	Natural %	Química %
$WO_3$ mínimo	65,00	65,00	65,00	65,00
Sn máximo	1,50	1,50	0,10	0,05
As máximo	0,20	0,20	0,10	0,05
Bi máximo	0,50	0,50	0,25	0,25
Sb máximo	0,05	0,05	0,10	0,05
P máximo	0,05	0,05	0,05	0,05
S máximo	0,50	0,50	0,50	0,50

En la Región de Atacama existen yacimientos de tungsteno los que, según estimaciones, representan el 70% de las reservas nacionales.

El beneficio tradicional sería concentrarlos gravitacionalmente para obtener un producto con un contenido de trióxido de tungsteno comercial. Sin embargo, por las especificaciones de mercado, la recuperación del proceso sería, necesariamente baja.

Una buena alternativa consistiría en flotar o concentrar gravitacionalmente los relaves del proceso anterior o el mineral para obtener concentrados de baja ley con alta recuperación en el proceso. Estos concentrados pueden ser tratados químicamente para convertirlos en un producto comercial.

Actualmente en la Universidad de Atacama está en desarrollo una línea de investigación cuyo objetivo es determinar la factibilidad de aplicar a concentrados



de baja ley, un proceso de lixiviación-purificación para obtener trióxido de tungsteno de alta pureza. En el presente trabajo que forma parte de la investigación mencionada se da a conocer parte de ella.

La primera etapa de este proceso es la lixiviación ácida la que se realiza contactando el concentrado con una solución de ácido clorhídrico de 370 g/l, durante 4 horas y con un porcentaje de sólidos de 30%.

La reacción que rige esta etapa es:



El producto de esta lixiviación es el ácido tungstico  $\text{H}_2\text{WO}_4$ , que es insoluble, el cual precipita muy rápidamente desde la solución, permaneciendo mezclado y disperso entre los otros sólidos presentes que no han sido disueltos.

El otro producto formado, cloruro de calcio,  $\text{CaCl}_2$ , es una sal y la mayor parte de ella permanece en solución junto con algunas impurezas (hierro, aluminio, manganeso, sílice, etc.) que han sido solubilizadas por el ácido.

Posteriormente, se filtra la pulpa para descartar la solución.

A continuación el sólido obtenido que contiene el ácido tungstico se contacta, durante 4 horas, con una solución de hidróxido de sodio de 47 g/l, con un porcentaje de sólidos de 20%.

En esta etapa se lleva a cabo la reacción:



El ácido tungstico es disuelto por el hidróxido de sodio transformándose en un producto soluble, tungstato de sodio,  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , de tal forma que éste puede ser separado fácilmente de los sólidos mediante filtración. El residuo sólido debe ser lavado con agua para recuperar el máximo de producto posible.

Esta solución contiene todas las impurezas que han sido solubilizadas por el reactivo. Por lo tanto, para obtener un producto puro, es necesario someterla a una etapa de purificación, específicamente, a extracción por solventes.

El propósito principal de esta etapa es convertir el isopolitungstato de sodio en isopolitungstato de amonio, mediante un intercambiador aniónico, que corresponde a una sal de amina ternaria. El mecanismo de extracción consta de dos etapas:

1.- Formación del compuesto orgánico que extrae el anión tungstato desde la solución. Para ello, es necesario neutralizar la amina libre ( $\text{R}_3\text{N}$ ) con ácido clorhídrico, de acuerdo a la siguiente reacción:



El extractante se pone en contacto con la solución de tungstato de sodio proveniente de la lixiviación alcalina, durante 3 minutos. Posteriormente, se deja decantar para provocar la separación de las fases.

2.- Extracción del anión tungstato. Esta etapa está

regida por la siguiente reacción:



El extractante es muy selectivo ya que las impurezas tales como sodio y otros metales alcalinos, alcalinotérreos, haluros y sulfatos no son extraídos permaneciendo en la solución acuosa, pero algunos iones tales como arsénico, fósforo y molibdeno, son extraídos junto con el tungsteno, los que forman una tercera fase que puede evitarse agregando isodecanol que actúa como modificador en la solubilidad del extractante.

Posterior a la separación de las fases, se obtiene una solución orgánica rica en aniones tungstato y un refinado conteniendo una alta proporción de impurezas provenientes de la solución de alimentación, el cual es descartado.

La fase orgánica cargada, se pone en contacto con una solución de hidróxido de amonio de  $\text{pH} = 9,5$  agitando durante 3 minutos y, posteriormente, decantando para separar las fases.

Como producto de esta etapa se obtiene una solución de tungstato de amonio prácticamente sin impurezas.

La creación que se lleva a cabo en esta etapa es:



Como se puede apreciar, la amina se regenera quedando en condiciones de ser empleada nuevamente en la etapa de extracción.

La solución de tungstato de amonio puede ser evaporada para obtener cristales de paratungstato de amonio,  $(\text{NH}_4)_6\text{W}_7\text{O}_{24} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , los cuales se descompondrían mediante calor, en vapor de agua, amoniaco y trióxido de tungsteno de alta pureza, de acuerdo a la reacción:



El proceso desarrollado en el presente trabajo, a nivel de laboratorio, cuando se incorpora al proceso de refinación de concentrados de baja ley, permite obtener productos comerciales con una alta recuperación de tungsteno a un costo de reactivo relativamente bajo.

Aún cuando ningún proceso puede ser evaluado únicamente en base a costos de reactivos, los cálculos demuestran que el proceso presenta una importante ventaja para el productor de concentrado pues le permite la obtención de productos comerciales de alta pureza a partir de concentrados de baja ley.

Finalmente, cabe señalar que la importancia de este trabajo radica en la generación de una nueva tecnología para la explotación de yacimientos de tungsteno de la región de Atacama, con los consecuentes beneficios sociales y económicos que implicaría esta nueva actividad minera.

# Estudio de prefactibilidad técnico-económica para una planta de cianuración en pila, para tratar minerales de oro de baja ley. (1)

C. Inostroza (2), R. Cabillos (2), H. Cárcamo (3), M. González M. (3)

## RESUMEN:

El presente trabajo es el resultado de un estudio de prefactibilidad técnico-económica, del tratamiento de un mineral aurífero de baja ley, cianurable típico de la III Región, por el método de lixiviación en pilas y precipitación del oro en solución por zinc.

El mineral estudiado, 4 g/t de Au, con una recuperación metalúrgica del 60%, para una planta de 70 t/día, representado una inversión de US\$ 230.000. Se estimó una amortización a cinco años plazo, con 12% de interés anual, de US\$ 2,6/ton, con costos de operación de US\$ 6,3/ton y con una utilidad neta de la planta de US\$ 9,8/ton de mineral.

Un estudio de sensibilidad, con respecto al tonelaje indica que a 120 t/día la utilidad neta es de US\$ 13,8/ton de mineral tratado.

No se estimó la inversión y el costo de la explotación minera.

## 1.- INTRODUCCION

La presencia, en la III Región de desmontes y yacimientos auríferos de baja ley, aptos para la cianuración, y que por su volumen no justifican grandes inversiones para su tratamiento (lixiviación por agitación), unido a la baja del precio de los metales preciosos en los mercados internacionales, motiva a los sectores empresariales mineros a desarrollar el tratamiento de lixiviación en pilas seguido de precipitación por zinc o adsorción en carbón activado.

El Departamento de Metalurgia de la Universidad de Atacama, desarrolla líneas de investigación tecnológica con el objetivo de investigar, aplicar y optimizar procesos, que de esta manera, muestren alternativas de inversión al sector pequeño y mediano minero.

Para tal efecto se desarrolla el Proyecto de Investigación, financiado por CONICYT: "Tratamiento de Minerales auríferos de baja ley de la III Región", del cual es parte el presente trabajo.

Para cubrir estos objetivos, se eligió un mineral típico de la Región de Valparaiso, de un sector tradicionalmente aurífero como lo es el sector "Capote Aurífero", actualmente sin actividad minera.

La metodología operatoria consistió en pruebas de cianuración en botellas y posteriormente pruebas de lixiviación en columnas y planta semi piloto. Las va-

riables en estudio no fueron optimizadas, sino que se eligieron niveles de referencia, y probadas en planta semipiloto (desde pruebas en columna y de bibliografía).

Se eligió una planta del orden de 70 t/día, que podría corresponder a una planta típica de pequeña minería, para hacer el estudio de prefactibilidad económica.

## 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Se trabajó con un desmonte proveniente del Distrito Minero "El Capote Aurífero", Mina Paulino, de la comuna de Freirina.

El análisis mineralógico indica presencia de magnetita, cuarzo, calcopirita (indicios), limonita y ferromagnesianos, con una ley media de 4,2 gr/ton de Au, que se encuentra fundamentalmente en forma granular de tamaños inferiores a 100 micrones.

Se realizaron pruebas metalúrgicas con el objetivo de poder evaluar la factibilidad de la cianuración en pila. Para esto se efectuaron las siguientes experiencias:

- 2.1. Prueba estandar de cianuración en botellas
- 2.2. Pruebas de cianuración en columnas
- 2.3. Prueba de cianuración en pila a escala semi piloto

### 2.1. Prueba de cianuración en botellas

Los resultados obtenidos para la prueba de cianuración en botella se presentan en la Fig. 1.

Estas experiencias nos indican que los consumos de cianuro de sodio son bajos (~0,9 Kg NaCN/ton mineral) y los consumos de cal para pH = 11,5 alcanzan a 3,7 kg/ton de mineral (74% CaO).

La cinética de recuperación del oro es alta, obteniéndose un 90% al cabo de 7 horas de lixiviación.

Se concluye, por lo tanto, que el mineral es apto al proceso de cianuración y es necesario determinar el comportamiento de éste en situaciones simuladas al tratamiento de lixiviación en pilas.

(1): Trabajo financiado por UNIVERSIDAD DE ATACAMA, CONICYT y CIA. MINERIA CAPOTE AURIFERO.

(2): Memoristas Departamento de Metalurgia

(3): Académicos Departamento de Metalurgia

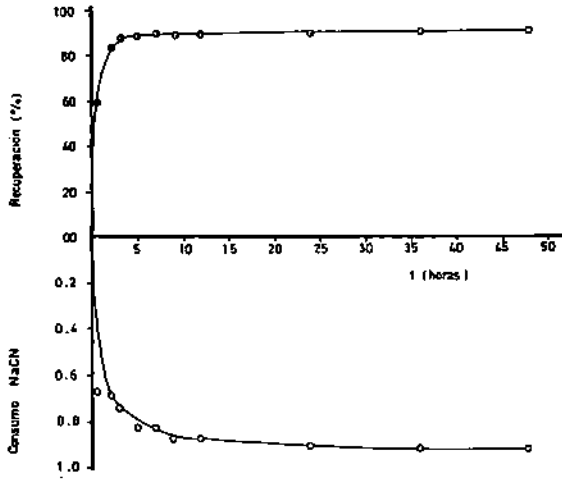


FIG. 1. RESULTADOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS PARA PRUEBAS ESTANDAR DE CIANURACION EN BOTELLA.

2.2. Pruebas de cianuración en columnas

En las pruebas de cianuración en columnas se estudiaron los parámetros siguientes:

2.2.1. Granulometría (100%o - 3/4" y 100%o - 1/2")

2.2.2. Tasa de regadío (10 l/h/m<sup>2</sup> y 15 l/h/m<sup>2</sup>)

2.2.3. Efecto del curado (ver tabla N° 1)

Las condiciones experimentales y resultados de las pruebas en columnas se resumen en la tabla N° 1 y las curvas cinéticas en la Fig. N° 2.

Las experiencias fueron realizadas en columnas de 10 cm de diámetro y un largo útil de 1,5 m, y cargadas con alrededor de 13,5 kg.

De este ciclo de experiencias se colige que:

- a menor granulometría mejora la recuperación (Columna 1 y 2);

Tabla N° 1 Resumen de condiciones experimentales y resultados de las pruebas en columna.	Condiciones experimentales	Columnas					
		1	2	3	4	5	6
Granulometría (pulg)		3/4	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
tasa regadío (l/h/m <sup>2</sup> )		10	10	15	15	10	10
curado		Sin	Sin	Alto	Bajo	Alto	Bajo
(CN <sup>-</sup> ) Soluc. (g/l)		1	1	0,5	0,5	0,5	0,5
CaO Soluc. (g/l)		3,7	3,7	3,8	3,8	3,8	3,8
pH		12	12	12	12	12	12
Curado:							
NaCN mineral (Kg/ton)		-	-	1,5	0,8	1,5	0,8
CaO mineral (Kg/ton)		-	-	0,5	0,45	0,5	0,45
%o humedad en aglomerado		-	-	10	10	10	10
Resultado:							
Recuperación %o		30,4	37,9	64,4	64,0	67,3	50,5
Consumo NaCN (Kg/ton)		1,06	1,22	1,24	0,67	1,36	0,6
Consumo CaO (Kg/ton)		4,63	4,94	7,94	6,64	6,93	6,56
tiempo lixiviac. (día)		16	16	11	11	17	17

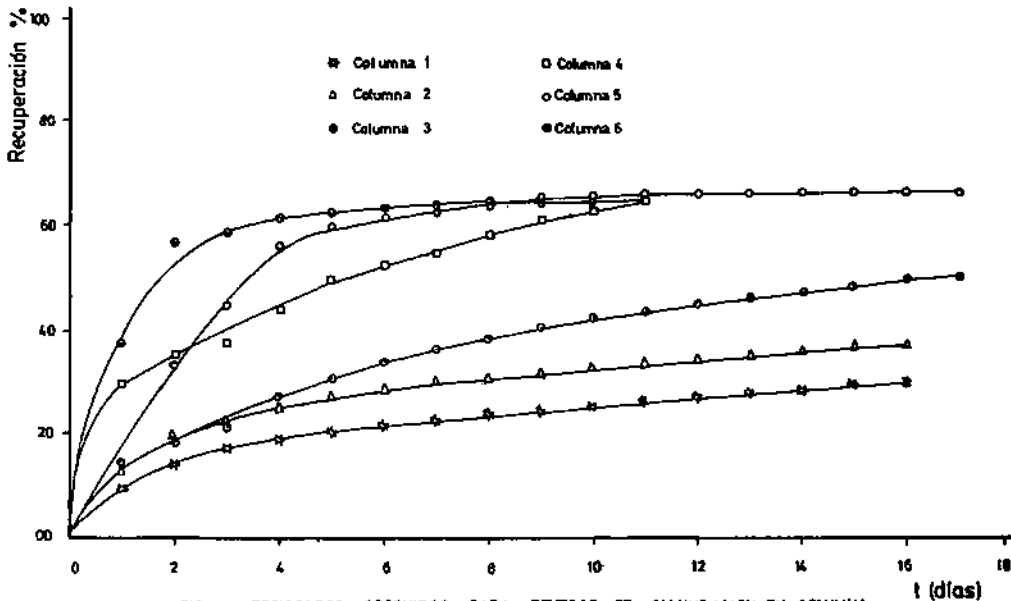


FIG. 2. RESULTADOS OBTENIDOS PARA PRUEBAS DE CIANURACION EN COLUMNA

- el curado previo mejora considerablemente las recuperaciones (Columnas 3 y 4 o bien 5 y 6 con columnas 1 y 2);
- existe una interacción entre la tasa de regadío y el tipo de curado; de esto se tiene que para una baja tasa de regadío con curado alto se obtiene la mejor recuperación (de 67%).
- el aglomerado obtenido fue satisfactorio en cuanto a la colección de finos, no observándose zonas impermeabilizadas durante las experiencias.

Finalmente se consideró que la columna Nº 5 dió la mejor respuesta, por lo tanto, sus condiciones de operación fueron consideradas en la prueba de pila semi piloto.

### 2.3. Prueba de cianuración en pila semi piloto

El objetivo de esta prueba, es poder evaluar el comportamiento del mineral cuando éste se encuentre sometido a las exigencias de condiciones operativas similares a una pila industrial.

Para lo cual se diseñó y construyó una cancha de lixiviación, estanques de almacenamiento de solución y accesorios, en el mismo sector de la Mina Paulino.

Se estimó una pila para 20 ton de mineral correspondiendo a una superficie de 4 x 4 m<sup>2</sup> y una altura de 1,5 m.

#### - Características de la pila y estanques de almacenamientos.

La superficie impermeable se construyó con polietileno de alta densidad, sobre un terreno compactado con una inclinación del 5%. Sobre el polietileno se colocó un geo-textil y sobre éste una capa de cuarzo y otra de arena, ambas de 10 cm de espesor, con el objetivo de filtrar las soluciones y proteger el polietileno (Fotografía Nº 1). La pila fue protegida por un cajón de madera, de 40 cm. de altura, para evitar el desmoronamiento de éste, en la parte basal (normalmente esto se hace con sacos de arena).



Los estanques de almacenamiento fueron diseñados para contener 8.000 m<sup>3</sup> de solución (alrededor de 3 días de operación) tanto para solución de alimentación como para soluciones ricas. Ambos construidos en el suelo revertidos del mismo polietileno de 2x2x2 m.

#### - Sistema de regadío y flujo de soluciones.

El sistema adoptado corresponde a un regador plástico marca Sewinger Irrigation Inc. Nº 9, que permite cubrir un área de 9 m<sup>2</sup>/regador. Se incluyó además un regulador de flujo de la misma marca para 12 psi.

La solución fue bombeada del estanque de almacenamiento de solución de alimentación mediante un equipo motobomba de 1 HP tipo Bosch. Las mangueras utilizadas fueron del tipo Plansa de 1 pulgada. Las soluciones ricas fueron recogidas en una canaleta revestida de polietileno que desague al pozo de solución rica.

#### - Tratamiento del mineral

Del desmorte de 600 ton, por muestreo por mallas, se obtuvo 20 toneladas de mineral, en colpas de hasta 10 pulgadas, el cual fue sometido a proceso de chancado en chancador de mandíbulas, simulando circuito cerrado, con un harnero de 1/2 pulg.

El material 100% bajo 1/2 pulgada, fue aglomerado en un tambor rotatorio (0,56 m de diámetro y 0,85 m de largo y con una velocidad de 15 r.p.m.) con una solución fuerte de 1,5 kg/ton de NaCN y 3,7 kg/ton de CaO y agua suficiente para alcanzar una humedad del 10% (Fotografía Nº 2). Los pellets obtenidos fueron dejados reposar durante 24 horas. Después de esto se procedió a cargar la pila, lo cual fue realizado por carretilla y pala (Fotografía Nº 3).

### 3.- OBSERVACIONES GENERALES

- El objetivo planteado, análisis de factibilidad económica basado en antecedentes metalúrgicos reales



Tabla N° 2

Resumen de condiciones experimentales y resultados metalúrgicos para la experiencia en pila semi piloto.

Condiciones experimentales:

Granulometría	100% - 1/2 pulg.
tasa de regadío	10 l/h/m <sup>2</sup>
CN <sup>-</sup> solución lixivante	10,5 g/l
CaO solución lixivante	3,8 g/l
pH	12
Curado:	
NaCN mineral	1,5 kg/ton. mineral
CaO mineral	3,7 kg/ton. mineral
% humedad	10
Resultados:	
Recuperación	58,4%
Consumo NaCN	1,1 kg/ton. mineral
Consumo CaO	10,4 kg/ton. mineral (*)
Volumen solución	35 m <sup>3</sup>
Tiempo curado	3 días
Tiempo lixiviación	25 días
Ley cabeza del mineral	4,1 g/ton
Ley cabeza calculada	3,6 g/ton
Ley de los rípios	1,0 g/ton

(\*) Se usó cal de inferior calidad a la usada en las pruebas anteriores.

poder mejorar la técnica del curado, lo cual redundará en cinéticas de lixiviación mayores y recuperaciones más altas.

## 4.- DISEÑO DE UNA PLANTA PARA TRATAR 70 TPD DE MINERAL

El objetivo es estudiar la prefactibilidad económica de una planta que trate este tipo de mineral, a nivel de pequeña minería.

El diagrama de flujo debe contar con etapas de chancado-clasificación curado, cianuración en pilas en continuo, precipitación con zinc, con sus respectivas canchas de almacenamiento, estanques de soluciones y equipos accesorios. El movimiento de materiales se realizará con un cargador frontal y correas transportadoras.

### 4.1. Resumen de la Inversión.

Se considera el valor de los equipos puestos en la zona de Capote Aurífero.

1.- Chancador primario y secundario	US\$ 98.000
Nordberg Corp. Rexnor Inc.	
2.- Mezclador ( $\phi = 2$ m, L = 4,5 m)	5.700
Maestranza Salas Hnos. S.A.I.C.	
3.- Cancha percolación (120 m <sup>3</sup> asfalto, espesor 0.15 m)	12.400
Guillermo Aguad Contratista	
4.- 3 estanques de PVCHD (150 m <sup>2</sup> c/u)	2.700
MINEMART	
5.- 2 motobombas 3 HP Bosch	4.000
retén SADEMI	
6.- Cargador frontal (3 yd <sup>3</sup> )	85.000
7.- Precipitador Merrill-Crowe 100 T/D	6.775
MINEMART	
8.- Varios	13.808

**INVERSION TOTAL US\$ 228.383**

AMORTIZACION ANUAL (a 5 años con interés de 12%)	US\$ 62.120/año
	US\$ 5.176/mes
	US\$ 2,58/ton de mineral

### 4.2. Costos de operación

	US\$/año
Chancado	8.472
Lixiviación	11.688
Supervisión	28.800
Insumos	68.680
Energía Eléctrica	33.840

**TOTAL US\$ 151.488/año**  
 US\$ 12.624/mes  
 US\$ 6,3 /ton mineral

(Nota: no se consideró el ítem transporte del mineral)

para un mineral particular, no da lugar a un estudio de optimización de parámetros, que en forma evidente podría mejorar los resultados metalúrgicos obtenidos y acortar los tiempos de lixiviación, sobre todo en la planta semi piloto.

- Con el fin de evitar problemas de representatividad de la muestra en la columna, es recomendable que estas experiencias sean realizadas en columnas con capacidades mínimas de 80 a 100 kg.
- El sistema de regadío empleado probó ser eficiente en cuanto al control de flujo y con una aspersión homogénea en la superficie a regar.
- Según los resultados obtenidos, resulta interesante

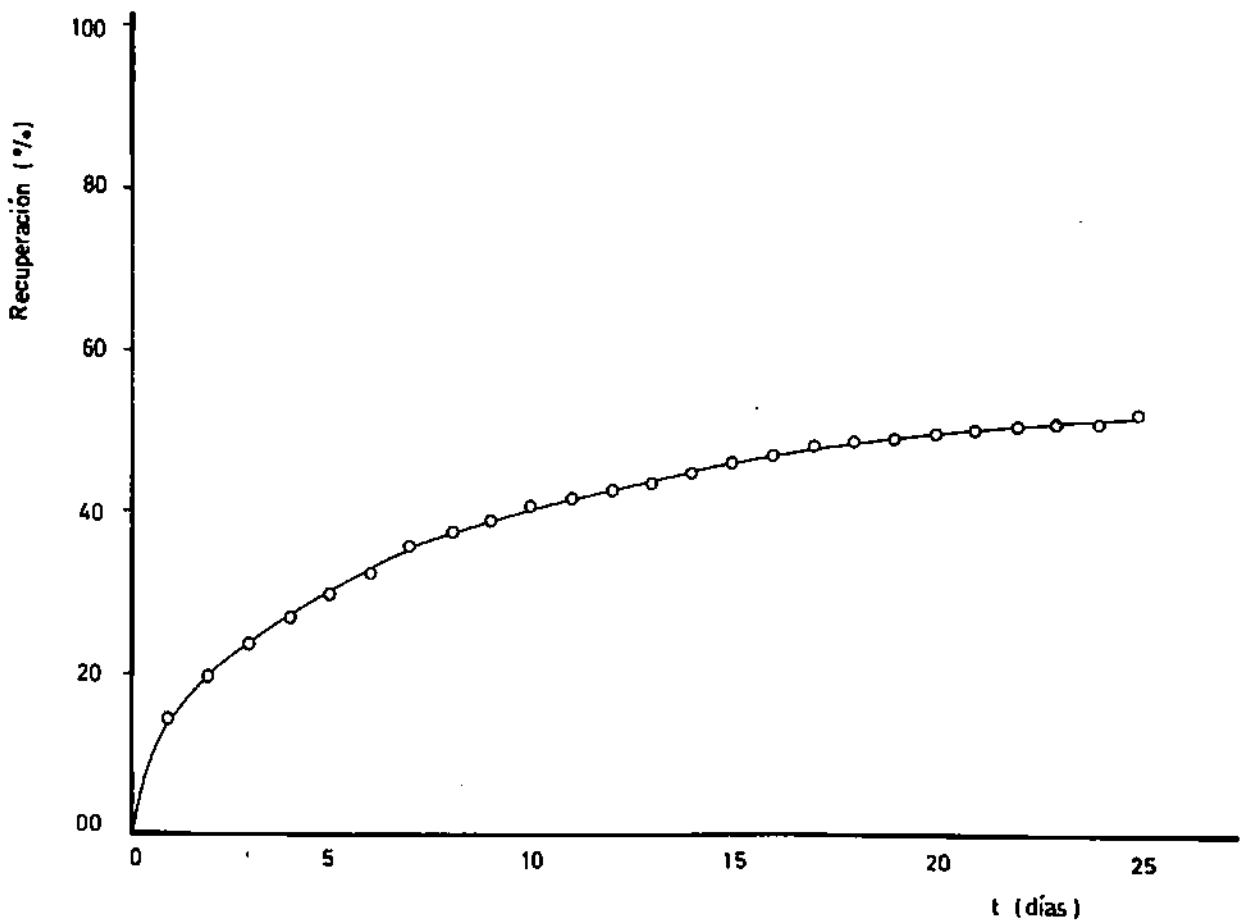


FIG. 3. CURVA CINETICA OBTENIDA PARA CIANURACION EN PILA PILOTO.

**4.3. Ingresos**

Se supone un valor de US\$ 252/oz troy y para los cálculos se considera una recuperación del 60% con ley de cabeza de 4 gr/ton.

Au recuperado por ton =  $4 \times 0,6 = 2,4$  gr Au/ton  
 $2,4 \times 70 = 168$  gr Au/día  
 Ingreso diario bruto : US\$ 1.307 /día  
 Ingreso bruto por ton.: US\$ 18,68 /ton  
 Ingreso bruto anual : US\$ 448.320/año

**4.4. Utilidad neta de la planta**

por tonelada de mineral tratado US\$ 9,8 /ton min  
 por año US\$ 234,712 /año

Para estimar la utilidad global se debiera considerar el costo y la inversión mina.

Cabe hacer notar, que por diseño de equipos, la planta puede aumentar su capacidad, sin incrementar mayormente sus costos operacionales, hasta 120 ton/

día, obteniéndose una utilidad neta de US\$ 13,75 /ton de mineral tratado.

**5.- CONCLUSION**

Se puede concluir que, a este nivel de estudio, es posible, tanto técnica como económicamente, aplicar el proceso de cianuración en pilas a este tipo de mineral.

Un aspecto de vital importancia para el éxito de este tipo de proyecto, es contar con un abastecimiento en forma regular, tanto en volumen como en ley, no lejano de la planta (dado su carácter marginal), por lo menos durante el período de amortización de los equipos.

**AGRADECIMIENTOS:** Los autores agradecen a la Universidad de Atacama, al Consejo Nacional de Investigación Científica y Tecnológica, CONICYT, y al Sr. Roberto Callejas M. (Cía. Minera Capote Aurífero) por el aporte entregado, posibilitando la realización del presente trabajo.

# LA CIENCIA DE LA SELECCION DE PERSONAL (\*)

*Dr. Harold Takooshian,  
Universidad de Atacama*

En 1948, George Orwell completó *1984*, su más impactante novela. Después de la Segunda Guerra Mundial, él previó el rápido desarrollo de las ciencias de la conducta, incluyendo a la psicología. Predijo también que por 1984, los psicólogos serían capaces de entender, predecir y controlar la conducta humana como nunca antes lo habían hecho.

Ahora bien, aquí estamos. ¿Ha probado su novela *1984*, ser verdadera?. Creo que si preguntáramos a los Psicólogos del mundo actual, la mayoría responderían "sí", pero sólo como una verdad a medias. Su novela avizoraba el futuro en forma selectiva.

Orwell fue un pesimista notorio, cuyas novelas se centraban invariablemente en el lado malo en vez del lado bueno de las cosas. El estaba en lo cierto en que los gobiernos totalitarios actualmente han reemplazado la brutalidad (violencia) con métodos de control psicológicos que son más sutiles y efectivos.

También ha habido por cierto muchos y positivos avances desde 1948 a la fecha y que han beneficiado a la humanidad.

Quisiera concentrar mi enfoque en uno de estos avances, el cual es de especial interés en este Simposium. Se trata de una especialidad dentro de la Ciencia de la Psicología Industrial denominada "selección de personal".

## UNA DEFINICION

Me parece pertinente ofrecer una definición, la cual puede ser de particular utilidad para aquellos asistentes cuya especialidad no es la psicología. Los libros de textos generalmente definen a la psicología como la "Ciencia de la Conducta" (Whittaker, 1984). Para un psicólogo entrenado en las leyes de la conducta humana, el propósito es entender mejor a un individuo de lo que el propio individuo puede entenderse a sí mismo. Esto se ha logrado exitosamente en otros campos. En medicina, por ejemplo, la persona desconoce la causa de un severo dolor que lo aqueja y pone su confianza en un médico (al que no conoce) para que lo trate y le brinde alivio. Luego tenemos a los mecánicos, la persona debe confiar en que el entendido encontrará el problema y dejará funcionando bien al vehículo (normalmente con gastos elevados, pero ineludibles). Del mismo modo, el valor de la psicología se ve reafirmado cada vez que alguien aquejado por problemas emocionales, encuentra el alivio que proporcionan los tratamientos de los psicoanalistas, siquiátras y psicólogos clínicos.

\* Trabajo presentado al Simposio de Psicología Industrial y Organizacional, realizado en la Universidad de Atacama, Copiapó, Chile, agosto 16 de 1984.

Orwell estuvo acertado en que la psicología experimentó en los últimos 36 años un avance y un desarrollo superior al experimentado en los últimos 500 años precedentes.

No conozco a profesor alguno de psicología que enseñe el tema, hoy día, y que use un texto de 1948, aunque hubiere sido el mejor de su época. Estaría, por cierto, sumamente obsoleto. El desarrollo acelerado de la psicología no es una casualidad sino que se explica en parte porque los libros de texto sobre estas materias se revisan cada 4 ó 5 años, ello es imprescindible a objeto de mantener el ritmo del avance científico de hoy.

## ¿PORQUE LA PSICOLOGIA DE PERSONAL?

Hoy día prácticamente cada empresa americana de mediano o gran tamaño emplea psicólogos especializados en personal. Esto si es que no cuentan con un Departamento del Personal dirigido por Psicólogos. Los psicólogos de personal realizan: el reclutamiento o captación, selección, colocación, entrenamiento o adiestramiento, promoción, evaluación del desempeño (Schultz, 1982).

Entre los deberes mencionados, el más común de ellos es la selección, considerando que normalmente se presentan varios solicitantes para cada posible ocupación, al psicólogo se le encomienda que diseñe científicamente aquél método que permita captar al mejor de los candidatos para el trabajo. Según la situación de que se trate, este proceso podría significar la aplicación de un cuestionario, una entrevista, cartas de recomendación, muestras de conducta, pruebas de aptitud física, o alguna prueba de personalidad o de habilidad.

Consideran ustedes lo que implica este desafío. En unas pocas horas o en un tiempo menor, un psicólogo debería ser capaz de decidir cuál de los 10 postulantes (todos extraños para él) es el que presenta la mayor probabilidad de desempeñarse bien en su trabajo en el futuro inmediato. En este respecto, los solicitantes puede que no lo sepan sin embargo, el psicólogo debe si saberlo.

Para mayor abundamiento, téngase presente las ventajas de contar con un buen programa de selección. Todos se benefician con él. La organización empleadora se beneficia contratando al trabajador que mejor se presta para el trabajo a realizar. Se benefician también los trabajadores que son seleccionados y finalmente aquellos que son usuarios de la empresa, también se benefician con el buen desempeño de un buen trabajador que fue bien seleccionado.

La idea de realizar sistemáticamente la selección del personal, no es nueva. La psicóloga de Fordham, Anne Anastasi, describe cómo el primer sistema que se conoce se aplicó alrededor de 1.000 años antes de Cristo en China, y consistió en una prueba para selec-

cionar a los empleados civiles del Emperador (Anastasi, 1981).

Platón y Aristóteles usaron técnicas objetivas para seleccionar a aquellos que ingresarían a la Academia. Aunque la premisa que ellos aplicaron en la época fue adecuada (la conducta a futuro, puede predecirse), el proceso de selección puede calificarse de primitivo si se compara con los sistemas que se emplean regularmente hoy.

## TRES ADELANTOS

De los tiempos de la publicación de la novela de Orwell a la fecha, pueden citarse, cuando menos tres importantes adelantos. Todos ellos deben ser tratados en cualquier programa moderno de psicología industrial y organizacional tal como sucede en el actual programa de Magister que se desarrolla en la U. de Atacama.

### 1.- INVALIDEZ

Las investigaciones científicas han demostrado elegantemente que los tres métodos más frecuentemente empleados para seleccionar personal cómo: las entrevistas, los formularios de solicitud en blanco, y las cartas de recomendación, son los menos válidos.

En el Manual de Psicología Industrial y Organizacional preparado por (Dunnette, 1976) y Anastasi (1979) así como en la Psicología Profesional (Meltzer, 1980) se produce un acuerdo en que: los tres métodos mencionados ejercen un especial atractivo en los hombres de negocios, a pesar de que se reconoce la pobreza de ellos en su capacidad para predecir desempeño a futuro (Correlación  $r$  de Pearson próximo a Cero). De manera que una cosa es segura y es que se sabe científicamente que estos procedimientos no sirven, sin embargo, aún se mantienen como métodos de uso frecuente.

### 2.- VALIDEZ

Las pruebas psicológicas son otra cosa. Ella se han convertido recientemente en los instrumentos de selección más poderosos y significativos. Con unas pocas excepciones, el 90% de las 1.200 pruebas psicológicas publicadas con las que se cuentan hoy, no estaban y no habría sido posible su existencia allá por los años 1948 (Buros, 1978). Las técnicas más sofisticadas para la construcción de pruebas de han desarrollado a partir de entonces y entre ellas destacan: los análisis de ítemes, de factores, los discriminadores de validación, los coeficientes  $J$  y la noción de respuestas de conjunto.

Cada año que pasa, las pruebas han llegado a ser cada vez más válidas en su capacidad de predecir desempeño a futuro. Agréguese a esto el que cada día



surgen nuevas pruebas para una amplia variedad de trabajos.

**3.- Un nuevo estadígrafo.**

Tal vez el mas grande avance en la selección de personal sea una técnica estadística nueva llamada "Análisis de Regresión Múltiple".

Esta técnica se hizo popular en los años 70 (Cohen, 1968) en parte debido al desarrollo de la computación electrónica. Ella permite al psicólogo usar una formula que combina varios buenos predictores y los reúne en uno sólo, pero excelente predictor de conductas a futuro (Anastasi, 1979, pp 174-176).

En la figura 1, por ejemplo, el psicólogo necesitaba contratar vendedores talentosos. A partir de correlaciones ("r") pasadas el sabe que la habilidad para vender se correlaciona con: inteligencia superior, personalidad altamente extrovertida pero baja en nerviosismo, y con ciertos otros antecedentes como la educación. Un psicólogo dispone de una hora del tiempo del solicitante para medirlo y en 10 minutos de su propio tiempo puede tener los resultados. A continuación con un análisis de regresión él puede combinar estos cuatro predictores en una buena batería de pruebas, la cual puede predecir en forma aproximada el rendimiento a futuro de los postulantes a vendedores, con una precisión superior al 50%. Por cierto que esta técnica descrita está al alcance de los psicólogos de hoy, no lo estuvo, en cambio, allá por 1948.

**¿NECESITA LA INDUSTRIA A LA PSICOLOGIA?**

En que medida —quienes toman decisiones— los ejecutivos de las empresas y de las industrias ¿necesitan de las técnicas que la psicología moderna les ofrece?

Esta es una pregunta difícil. Por mis relaciones profesionales con muchos hombres de negocios de los Estados Unidos puedo afirmar que ellos se dividen en dos grandes categorías extremas: los sicófobos y los sicófilos.

**LOS SICOFOBOS**

Son aquellos ejecutivos que creen y piensan que ellos son personas "dotadas desde el nacimiento" con la capacidad para juzgar a la gente. Para saber lo que sabe no necesita obtener un grado académico en psicología. Para él los psicólogos son gente sobre-educada que "no saben nada". El no pretende usar a los psicólogos en su empresa ya que ellos usan pruebas estadísticas misteriosas que ellos no entienden.

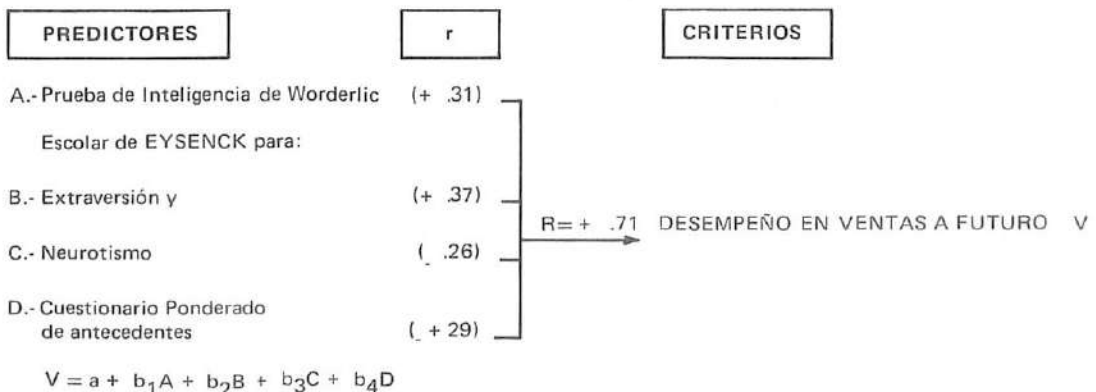
**LOS SICOFILOS.**

Son bastantes diferentes. Son personas que han leído a Orwell y aún a Huxley (1957), y son proclives a la psicología científica. Ellos cifran demandas y expectativas exageradas e imposibles de satisfacer por los psicólogos. Tal como un apesadumbrado psicólogo americano señala, muchos hombres de empresa que el psicólogo "obre milagros" (Sobel, 1980), de modo que desde el comienzo, el psicólogo debe establecer que se puede y que no se puede esperar de él.

Yo he tenido la fortuna de haber trabajado con varios hombres de negocios que se ubican en el centro de ambas posiciones extremas, son aquellos que poseen una clara visión tanto de las ventajas como de las limitaciones de la psicología en sus organizaciones.

En mi breve permanencia aquí en Chile, también he encontrado una actitud similar. El Dr. Vidler y yo, hemos oído al Rector Don Vicente Rodríguez Bull, así como al Consejo Académico de esta Universidad discutir acerca de lo que la psicología Industrial y Or-

FIGURA 1.- Un ejemplo hipotético: Selección de vendedores empleando Regresión Múltiple con varios predictores.



ganizacional podría ofrecer para el desarrollo de la industria de la III Región (U. de A., 1984; Meza, 1984).

Nosotros también hemos tenido el agrado de discutir con el Intendente Coronel de Ejército Señor Alejandro González Samohod, acerca de la importancia de desarrollar el liderazgo, a política y los negocios en forma científica.

No menos destacables es el hecho de que varios de los actuales alumnos del Programa de Magister en Psicología Industrial y Organizacional, son personas que actúan en los niveles donde se toman importantes y trascendentes decisiones, los cuales, parecen prontos a aplicar esta rama de la psicología en la industrias chilenas.

Trato de imaginar si los empresarios chilenos y los políticos son sicófilos o sicófobos en su actual actitud hacia la psicología (esta pregunta se ve como un valioso posible tema para una tesis de Magister). La respuesta seguramente afectará al desarrollo de la psicología Industrial y Organizacional en esta nación.

## LA PSICOLOGIA INDUSTRIAL Y ORGANIZACIONAL CHILENA

Dejenme concluir con unas pocas reflexiones en mi calidad de "observador foráneo" acerca del status que yo veo ocupa la psicología en Chile en el pasado y en el futuro.

1.- La psicología chilena tiene una larga pero azarosa historia. En 1889, Chile fue una de las primeras naciones en desarrollar la ciencia de la psicología cuando los Doctores: Guillermo Mann y Jorge Schneider, con la cooperación del Estado, fundan y ponen en marcha el "Instituto Pedagógico de la Universidad de Chile". Sin embargo, allá por 1974 "en los actuales registros del Colegios de Chile" figuran 487 Profesionales (Tshorne, 1978, pp. 45.) cifra que aparece muy modesta cuando se la compara con los 55.000 psicólogos miembros de la Asociación Americana de Psicólogos, o con los 15.000 miembros que figuran en los registros de los Colegios de Gran Bretaña y Japón (Rosenzweig, 1984).

2.- En la mayor parte de América Latina excepto en Chile la psicología ha sido opacada o ensombrecida debido a que se la identifica con el sicoanálisis clínico tanto es así que, Rubén Ardila ha dicho bien: "Es un error identificar a la Psicología con el Sicoanálisis. Este último es sólo un enfoque de ciertos problemas psicológicos... No hay razón para enfatizar una teoría a expensa de otra" (1978, pp. 21).

En contraste, yo he encontrado que las ideas de Carl Rogers y otros humanistas prosperan junto con aquellas de Freud, en medio de muchos psicólogos chilenos.

3.- Por alguna razón, la psicología industrial se ha visto retrasada especialmente en algunos de los países de América Latina. Aún cuando, hoy día es en U.S.A.

la especialidad mejor remunerada. El programa de Magister en Psicología Industrial y Organizacional que actualmente se desarrolla en la Universidad de Atacama parece ser no sólo único en Chile, sino también en América Latina.

Los psicólogos chilenos que actualmente se desempeñan en las industrias seguramente son los pioneros. Es fácil preveer que aquellos que completen exitosamente el programa de adiestramiento en Psicología Industrial y Organizacional se encontrarán jugando, en breve, importantes desempeños en las Instituciones chilenas. Esto nos lleva a afirmar, el tiempo para la Psicología Industrial y Organizacional ha llegado.

Tengo otros 27 puntos que destacar del futuro de la Psicología en Chile. Sin embargo, dejenme ahorrar esas predicciones para una novela que me encuentro actualmente planificando y que se titula 2004. Su tema trata de un grupo de Psicólogos Industriales y Organizacionales formados en Copiapó quienes revolucionaron el futuro industrial así como la vida social de Chile. Con la gracia de Dios, todos estaremos aquí en el año 2004 para presenciar cómo esto llega a ser una realidad.

## REFERENCIAS

- Anastasi, A. (1979). *Fields of Applied Psychology* (2 ed.) New York: McGraw Hill.
- Anastasi, A. (1981). *Psychological Testing* (5 ed.) New York: Macmillan.
- Ardila, R. (1978). El entrenamiento de los psicólogos latinoamericanos. Págs. 19-29 in R. Ardila (Ed.). *La profesión del psicólogo*. México: Trillas
- Buros, O. (1978) (Ed.). *Mental measurements Yearbook* (8 ed.) Highland Park NJ: Gryphon.
- Cohen, J. (1968). Multiple Regression as a general data-analytic system. *Psychological Bulletin*, 70, 426-443.
- Dunnette, M. (1976) (Ed.). *The handbook of Industrial-Organizational Psychology*. Chicago: Rand McNally.
- Huxley, A. (1958). *Brave New World Revisted*. New York: Harper y Row.
- Meltzer, H. (1980, August) (Ed.). Industrial-Organizational Psychology today (volumen especial) *Professional Psychology*, 11 (3).
- Meza, M. (1984). *Clase Magistral: "El ambiente del espacio Universitario"*. Copiapó: Universidad de Atacama.
- Orwell, G. 1984. (1949). New York: New American Library.
- Rosenzweig, M. (1984). U.S. Psychology and world psychology, *American Psychologist*, 39, 877-884.
- Schultz, D. (1982). *Psychology and industry today* (3 ed.). New York. Macmillan.
- Sexton, V.S. (1984). *Is American psychology xenophobic?* Presidential address to the Eastern Psychological Association, Baltimore, April 14.
- Sobel, D. (1980). Psychologists for industry say they have oversold. Themselves *New York Times*, September 2.
- Tschorne, P. (1978). La psicología en Chile, Pág. 43-48 in R. Ardila (Ed.) *La profesión del psicólogo*. México: Trillas.
- Universidad de Atacama (1984). *Magister en sicología industrial y organizacional*. Copiapó: Author.
- Whittaker, J. (1984) *Psicología*. (4<sup>th</sup> ed.). México City: Interamericana.

# MODELOS LINEALES GENERALIZADOS

Sr. Juan Eduardo Garrido Z. Profesor Jornada Completa Depto. Ciencias Básicas. U.D.A.

## RESUMEN

Durante varias décadas los modelos lineales de la forma  $Y = X\beta + e$ , con el supuesto de que el término de error y por consiguiente la variable respuesta tienen distribución normal, han constituido la base del análisis de datos continuos, tales como los modelos factoriales y los de regresión lineal múltiple.

Recientes avances en la teoría estadística (familia exponencial de distribuciones) y el desarrollo de software computacional (mínimos cuadrados iterativamente ponderados), permiten desarrollar métodos análogos a los del modelo lineal clásico, en las siguientes situaciones:

i) La variable respuesta puede tener una distribución no necesariamente normal e incluso puede ser discreta.

ii) La relación entre la respuesta y las variables explicativas (predictoras) no es necesariamente lineal simple, como en el modelo clásico, sino más bien  $g(X\beta)$  en lugar de  $X\beta$ .

Finalmente se define el concepto de devianza como una generalización del análisis de varianza.

## 1. EL MODELO LINEAL GENERAL:

El modelo lineal general clásico tiene la siguiente estructura:

RESPUESTA	PARTE SISTEMÁTICA	PARTE ALEATORIA
$\vec{Y} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} \quad n \times 1$	$\vec{\mu} = E[\vec{Y}] = \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \\ \vdots \\ \mu_n \end{bmatrix} \quad n \times 1$	$\vec{e} = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_n \end{bmatrix} \quad n \times 1$

Estas tres componentes están relacionadas por  $Y_i = \mu_i + e_i$ , con el supuesto siguiente:

$$e_i \sim N(0, \sigma^2) \implies Y_i \sim N(\mu_i, \sigma^2), \forall i = 1, 2, \dots, n$$

**PREDICTORES:** Se conocen  $n$  observaciones de  $p$  variables predictoras o explicativas, que conforman una matriz de diseño  $X$ :

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1p} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{np} \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} p < n \\ n \times p \end{matrix}$$

**EL MODELO:** El carácter LINEAL del modelo lo proporciona la parte sistemática  $\vec{\mu}$  por medio de:

$$\vec{\mu} = X \cdot \vec{\beta}, \text{ donde } \vec{\beta} \text{ es un vector de } p \text{ parámetros } \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p.$$

De esta forma la ecuación  $Y_i = \mu_i + e_i$  queda como:

$$Y_i = \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_p X_{ip} + e_i$$

$$\text{con } E[Y_i] = \mu_i = \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_p X_{ip}$$

$$\text{y } V(Y_i) = \sigma^2, \text{ pues } E[e_i] = 0 \text{ y } V(e_i) = \sigma^2$$

Así por ejemplo, en el modelo de regresión lineal simple se tiene:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + e_i \text{ con}$$

$$X = \begin{bmatrix} 1 & X_1 \\ 1 & X_2 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & X_n \end{bmatrix} \quad \vec{\beta} = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \end{bmatrix} \quad \vec{e} = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_n \end{bmatrix}$$

Por lo tanto el supuesto básico del modelo lineal clásico es la normalidad de la componente error, la cual implica la normalidad de la variable respuesta; pero existen aplicaciones en que tal supuesto no es real y la linealidad esta comprometida, como ocurre en el análisis de probitos, donde se observan conteos y es más adecuado suponer distribución binomial, o como ocurre en las tablas de contingencia donde se observan frecuencias que se adecuan a una distribución multinomial y la parte sistemática es usualmente multiplicativa (lineal en logaritmo); finalmente la clase basada en la distribución  $\chi^2$  o Gamma para estimar componentes de la varianza, cuyo modelo tiene una estructura lineal en su parte sistemática.

## 2. GENERALIZACION:

La idea es encontrar un conjunto de modelos con componente sistemática  $g(X|\beta)$  lineal, que responda a los requerimientos de cada distribución específica, sea ésta Normal, Binomial, Poisson o Gamma. La respuesta fue presentada por Nelder y Wedderburn en un paper titulado "GENERALIZED LINEAR MODELS" (J.R.St. Soc. A., 1972) y ésta se basa en la Familia Exponencial de distribuciones, cuya función de densidad es de la forma:

$$f_Y(y; \phi, \theta) = \exp \left\{ [y\theta - b(\theta)] / a(\phi) + c(y, \phi) \right\}$$

donde  $a$ ,  $b$  y  $c$  son funciones conocidas. Si  $\phi$  es conocido se tiene una familia exponencial con parámetro canónico  $\theta$ . Si  $\phi$  es desconocido, la distribución puede no ser exponencial.

La familia exponencial de distribuciones incluye como casos particulares a las distribuciones NORMAL, BINOMIAL, POISSON y GAMMA. Así para la distribución normal se tiene:

$$f_Y(y; \phi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\phi^2}} \exp \left[ - (y - \mu)^2 / 2\phi^2 \right]$$

$$= \exp \left\{ (Y\mu - \frac{\mu^2}{2}) / \phi^2 - \frac{1}{2} [Y^2 / \phi^2 + \ln(2\pi\phi^2)] \right\}$$

de modo que:  $\theta = \mu$ ;  $b(\theta) = \frac{1}{2} \mu^2$ ;  $\phi = \phi^2$ ;  $a(\phi) = \phi$

$$c(y, \phi) = -\frac{1}{2} [Y^2 / \phi^2 + \ln(2\pi\phi^2)]$$

Sea ahora  $\ell(\theta, \phi; y) = \ln f_Y(y; \theta, \phi)$  la función log-verosimilitud, considerada como función de  $\theta$  y  $\phi$ ,

con  $y$  dado. La media y la varianza de  $Y$  pueden hallarse a partir de:

$$(1) E \left[ \frac{\partial \ell}{\partial \theta} \right] = 0 \quad \text{y} \quad (2) E \left[ \frac{\partial^2 \ell}{\partial \theta^2} \right] + E \left[ \frac{\partial \ell}{\partial \theta} \right]^2 = 0$$

$$\text{pero } \ell(\theta, \phi; y) = [y\theta - b(\theta)] / a(\phi) + c(y, \phi)$$

$$\frac{\partial \ell}{\partial \theta} = [y - b'(\theta)] / a(\phi)$$

$$\frac{\partial^2 \ell}{\partial \theta^2} = -b''(\theta) / a(\phi)$$

$$0 = E \left[ \frac{\partial \ell}{\partial \theta} \right] = [\mu - b'(\theta)] / a(\phi)$$

$$\text{y así se tiene } E[Y] = \mu = b'(\theta)$$

$$\text{En forma similar } 0 = -\frac{b''(\theta)}{a(\phi)} + \frac{\text{Var } Y}{a^2(\phi)}$$

y así  $\text{Var}(Y) = b''(\theta) \cdot a(\phi)$  es el producto de dos funciones: una es  $b''(\theta)$  que depende del parámetro canónico (y por lo tanto de la media) solamente y será denominada función varianza; la otra,  $a(\phi)$  es independiente de  $\theta$  y depende sólo del parámetro de dispersión  $\phi$ .

La función  $a(\phi)$  frecuentemente es de la forma:  $a(\phi) = \phi / w$ , donde  $w$  es un "peso a priori", supuesto conocido y  $\phi$  (parámetro de dispersión) se denota a veces por  $\phi^2$ . Así para un modelo normal en el cual cada observación es la media de  $n$  lecturas independientes, tenemos  $a(\phi) = \phi^2 / n$  y por lo tanto  $w = n$ .

La tabla siguiente muestra un resumen de los casos más importantes que incluye la familia exponencial:

CARACTERISTICAS DE ALGUNAS DISTRIBUCIONES DE LA FAMILIA EXPONENCIAL				
	NORMAL	POISSON	BINOMIAL	GAMMA
RANGO DE Y	$(-\infty, +\infty)$	$0, 1, 2, \dots, \infty$	$0, 1, 1, \dots, n$	$(0, +\infty)$
$a(\phi)$	$\phi$	1	$1/n$	$\phi$
$b(\theta)$	$\frac{1}{2} \theta^2$	$e^\theta$	$\ln(1 + e^\theta)$	$-\ln(-\theta)$
$c(y, \phi)$	$-\frac{1}{2} \left[ \frac{y}{\phi} + \ln(2\pi\phi) \right]$	$-\ln y$	$\ln \left[ \frac{n}{ny} \right]$	$(\phi - 1) \ln(y\phi) + \ln\phi - 1n\gamma(\phi)$
$\mu = E[Y]$	$\theta$	$e^\theta$	$e^\theta(1 + e^\theta)$	$-1/\theta$
FUNCION VARIANZA	1	$\mu$	$\mu(1 - \mu)$	$\mu^2$

**3. COMPONENTES DE UN MODELO LINEAL GENERALIZADO:**

Un modelo lineal generalizado tiene en su estructura las siguientes componentes:

i) Un vector  $\vec{Y} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}$  de n observaciones independientes

$Y_i$ , de una variable respuesta Y con media  $\vec{\mu}$ . La distribución de las  $Y_i$  pertenece a la familia exponencial de distribuciones y es la misma para toda  $Y_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ .

ii) **Componente sistemática:** Asumimos la existencia de n observaciones de p variables explicativas o predictoras  $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ip}$  y un conjunto de p parámetros  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$  que son los escalares de una combinación lineal de las  $X_{ij}$ ;  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $j = 1, 2, \dots, p$ ; llamado "predictor lineal", denotado por:

$$\eta_i = \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_p X_{ip} = \sum_{j=1}^p \beta_j X_{ij}$$

o escrito en forma matricial:

$$\vec{\eta} = X \vec{\beta}$$

iii) Existe una función monótona diferenciable g, llamada **FUNCIÓN DE ENLACE (LINK FUNCTION)** que relaciona la media  $\mu_i$  de las  $Y_i$  con el predictor lineal  $\eta_i$ :

$$\eta_i = g(\mu_i) = \sum_{j=1}^p \beta_j X_{ij}; \quad \mu_i = E[Y_i]$$

o en forma matricial:

$$\vec{\eta} = g(\vec{\mu}) = g(X\vec{\beta})$$

La función de enlace g puede ser:

- IDENTIDAD :  $\eta_i = g(\mu_i) = \mu_i$
- LOGITO :  $\eta_i = \ln[\mu_i/(1 - \mu_i)]$
- LOGARITMO :  $\eta_i = \ln \mu_i$
- RECIPROCO :  $\eta_i = 1/\mu_i$

La combinación de una distribución con un enlace da origen a un modelo lineal generalizado, así se tiene por ejemplo:

**NORMAL+ IDENTIDAD:**

Modelos de regresión lineal clásico

**BINOMIAL+ LOGITO:**

Modelos de regresión logística

**POISSON+ LOGARITMO:**

Modelos log-lineales para tablas de contingencia.

**GAMMA+ RECIPROCO:**

Modelos de componentes de la varianza.

**4. ESTIMACION DE LOS PARAMETROS**

Los estimadores máximo verosímiles de los parámetros  $\vec{\beta}$ , del predictor lineal  $\eta$  de un modelo lineal generalizado pueden obtenerse por el método de mínimos cuadrados iterativamente ponderados. En esta regresión la variable dependiente no es "y", sino "z", en forma linealizada de la función de enlace aplicada a "y", y los pesos son funciones de los valores ajustados  $\vec{\mu}$ . El proceso es iterativo debido a que tanto la variable dependiente Z ajustada como los pesos W, dependen de los valores ajustados, para los cuales sólo se dispone de estimadores corrientes. El procedimiento es el siguiente: Sea  $\hat{\eta}_0$  el estimador corriente del predictor lineal, correspondiente al valor ajustado  $\hat{\mu}_0$  derivado de la función de enlace  $\eta = g(\mu)$ . De la variable dependiente ajustada con valor típico:

$$Z_0 = \hat{\eta}_0 + (y - \hat{\mu}_0) \left( \frac{d\eta}{d\mu} \right)_0$$

donde la derivada del enlace es evaluada en  $\eta_0$  y el peso (cuadrático) definido por:

$$W_0^{-1} = \left( \frac{d\eta}{d\mu} \right)^2 V_0$$

donde V es la función varianza de Y.

Ahora se regresa  $Z_0$  en  $X_1, X_2, \dots, X_p$  con peso  $W_0$ , para obtener nuevos estimadores  $\hat{b}_1$  de los parámetros y con éstos se forma un nuevo estimador  $\hat{\eta}_1$ , del predictor lineal. Repetir el procedimiento hasta que los cambios sean suficientemente pequeños. Nótese que Z es una forma linealizada de la función de enlace aplicada a los datos, para el primer orden:

$$g(y) \approx g(\mu) + (y - \mu) g'(\mu)$$

y el miembro derecho es:  $\eta + (y - \mu) \frac{d\eta}{d\mu}$

La varianza de Z es justamente  $W^{-1}$  (ignorando el parámetro de dispersión), suponiendo que  $\eta$  y  $\mu$  son fijos y conocidos. Una característica conveniente de los modelos lineales generalizados es que tienen una partida sencilla para el proceso de iteración; esta consiste en usar los datos mismos como aproximación inicial de  $\mu_0$  y de esta se derivan  $\hat{\eta}_0, (d\eta/d\mu)_0$  y  $V_0$ .

**4.1. JUSTIFICACION DEL METODO**

De la función log-verosimilitud, escrita en forma canónica:

$$\ell(\theta, \phi; y) = [y\theta - b(\theta)]/a(\phi) + C(y, \phi)$$

tenemos:  $\frac{\partial \ell}{\partial \theta} = [y \cdot b'(\theta)]/a(\phi) = (y - \mu)/a(\phi)$

por lo tanto  $\frac{\partial \ell}{\partial \mu} = \frac{\partial \ell}{\partial \theta} \frac{\partial \theta}{\partial \mu} = \frac{y - \mu}{V}$ ,

ya que  $\frac{\partial \mu}{\partial \theta} = b''(\theta) = \frac{V}{a(\phi)}$

Ahora  $\frac{\partial \ell}{\partial \eta} = \frac{\partial \ell}{\partial \mu} \cdot \frac{\partial \mu}{\partial \eta}$ , y finalmente

$$\frac{\partial \ell}{\partial \beta_i} = \frac{\partial \ell}{\partial \eta} \cdot \frac{\partial \eta}{\partial \beta_i} = \frac{\partial \ell}{\partial \mu} \frac{\partial \mu}{\partial \eta} X_i = \left(\frac{y - \mu}{V}\right) \frac{d\mu}{d\eta} X_i$$

Las ecuaciones máximo verosímiles para  $\beta_i$  están, por lo tanto, dadas por:

$$\sum \left(\frac{y - \mu}{V}\right) \frac{d\mu}{d\eta} X_i = \sum W(y - \mu) \frac{d\eta}{d\mu} X_i = 0$$

El método de Scoring de Fisher usa el valor esperado de la matriz Hessiana:

$$\begin{aligned} E \left[ \frac{\partial^2 \ell}{\partial \beta_i \partial \beta_j} \right] &= E \left( \frac{\partial}{\partial \beta_j} \left[ \sum (\bar{Y} - \bar{\mu}) V^{-1} \frac{d\mu}{d\eta} X_i \right] \right) \\ &= E \left[ \sum (\bar{Y} - \bar{\mu}) \frac{\partial}{\partial \beta_j} \left[ V^{-1} \frac{d\mu}{d\eta} X_i \right] \right. \\ &\quad \left. + \sum \frac{\partial}{\partial \beta_j} (\bar{Y} - \bar{\mu}) V^{-1} \frac{d\mu}{d\eta} X_i \right] \\ &= -\sum V^{-1} \left( \frac{d\mu}{d\eta} \right)^2 X_i X_i = -\sum W X_i X_i \end{aligned}$$

Dados los estimadores corrientes  $\vec{b}$  de  $\beta$ , el método da ajustes  $\Delta \vec{b}$  definidos por:

$A \Delta \vec{b} = \vec{c}$ , donde  $A$  es una matriz cuadrada  $p \times p$  dada por:

$$A_{ij} = \sum_k W_k X_{ik} X_{jk} \text{ y } \vec{c} \text{ es un vector } p \times 1 \text{ dado por:}$$

$$c_i = \sum_k W_k X_{ik} (y_k - \mu_k) d\eta_k / d\mu_k$$

$$\text{Ahora } (A\vec{b})_i = \sum_j A_{ij} b_j = \sum_k W_k X_{ik} \eta_k$$

y entonces nuevos estimadores  $\vec{b}^* = \vec{b} + \Delta \vec{b}$  satisfacen las ecuaciones:

$$\begin{aligned} (A\vec{b}^*) &= [A(\vec{b} + \Delta \vec{b})]_i = \\ &= \sum W_k X_{ik} [\eta_k + (y_k - \mu_k) d\eta_k / d\mu_k] \end{aligned}$$

y estas tienen la forma de ecuaciones lineales de mínimos cuadrados ponderados con peso

$$W = V^{-1} \left( \frac{d\mu}{d\eta} \right)^2 \text{ y variable dependiente}$$

$$Z = \eta + (y - \mu) \frac{d\eta}{d\mu}$$

Puede utilizarse el método de Newton-Raphson, para lo cual se requiere apoyo computacional. La mayoría de los paquetes estadísticos que incluyen análisis basados en modelos lineales generalizados tienen programas eficientes para obtener las soluciones. Paquete GLIM (Backer y Neider, 1978).

### 5. COMPARACION DE MODELOS Y BONDAD DE AJUSTE

El proceso de ajustar modelos a datos observados experimentales puede verse como una forma de reemplazar un conjunto de valores observados y por un conjunto de valores ajustados  $\hat{\mu}$  obtenidos de un modelo que incluye usualmente un número relativamente pequeño de parámetros. Existen varias formas de medir la discrepancia entre valores observados y ajustados; aquí veremos un criterio basado en el logaritmo de una razón de verosimilitudes, llamado DEVIANZA. Dadas  $n$  observaciones, podemos ajustar a estos datos, modelos que contendrán a lo más  $n$  parámetros. El modelo más simple es aquel que no postula estructura alguna y se llama MODELO NULO y se denota por  $\Phi$ ; este tiene un solo parámetro que es  $\mu$  para todas las observaciones y por lo tanto consigna toda la variabilidad a la componente de error. En el otro extremo está el modelo SATURADO o COMPLETO, el cual tiene  $n$  parámetros, uno por cada observación y sus estimaciones porean los datos exactamente; este modelo consigna toda la variabilidad de las observaciones a la componente sistemática y no consigna nada a la componente de error.

En la práctica el modelo nulo es demasiado simple y el modelo saturado es desinformativo, pues sólo repite los datos mismos totalmente. Sin embargo, el modelo saturado proporciona una base para medir la discrepancia para modelos intermedios con "p" parámetros que son de real interés práctico y no tienen parámetros extras innecesarios. Designaremos por  $\vec{\beta}_{\text{máx}}$  y por  $\vec{\beta}_p$ .

Los vectores de parámetros correspondientes al modelo saturado y al modelo de interés, respectivamente:

$$\vec{\beta}_{\text{máx}} = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_n \end{bmatrix} \quad n \times 1 \qquad \vec{\beta}_p = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_p \end{bmatrix} \quad p \times 1$$

Sea  $L(\vec{\beta}_{\text{máx}}, \vec{y})$  la verosimilitud del modelo saturado (el cual tiene el máximo L). Entonces el modelo de interés actual, representará bien los datos observados si:

$$L(\vec{\beta}_p, \vec{y}) \approx L(\vec{\beta}_{\text{máx}}, \vec{y}), \text{ y la representación de los datos será pobre si } L(\vec{\beta}_p, \vec{y}) \ll L(\vec{\beta}_{\text{máx}}, \vec{y})$$

Esto sugiere el uso, como medida de la bondad de ajuste, la razón de verosimilitudes:

$$\lambda = \frac{L(\vec{b}_{m\acute{a}x}, \vec{y})}{L(\vec{b}_p, \vec{y})}, \text{ o equivalentemente}$$

$$\ln \lambda = \ell(\vec{b}_{m\acute{a}x}, \vec{y}) - \ell(\vec{b}_p, \vec{y})$$

donde  $\ell(\vec{b}_p, \vec{y})$  es la función log-verosimilitud, evaluada en el estimador máximo verosímil  $\vec{b}_p$  de  $\vec{\beta}_p$ .

**DEVIANZA:** Se define la devianza del modelo de interés por:

$$D = -2 \ln \lambda = -2 [\ell(\vec{b}_p, \vec{y}) - \ell(\vec{b}_{m\acute{a}x}, \vec{y})]$$

En el caso Normal con función de enlace Identidad, la devianza equivale a la suma de cuadrados residual, esto es:

$$D = \sum (y - \hat{y})^2 \text{ y } \frac{1}{D} D \sim \chi^2_{(n-p)}$$

## 6. TESTS DE HIPOTESIS

Consideremos la hipótesis de nulidad:

$$H_0: = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_q \end{bmatrix} = \vec{\beta}_0 \text{ v/s } H_1: = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_p \end{bmatrix} = \vec{\beta}_1; q < p < n$$

Docimamos  $H_0$  frente a  $H_1$  usando la diferencia de razones de log-verosimilitudes (diferencia de devianzas):

$$D = D_0 - D_1 = -2 [\ell(b_0, y) - \ell(b_1, y)]$$

Si ambos modelos describen bien los datos observados se tendrá:

$$D_0 \sim \chi^2_{(n-q)} \text{ y } D_1 \sim \chi^2_{(n-p)}$$

de modo que  $D \sim \chi^2_{(p-q)}$  y preferiremos el modelo correspondiente a  $H_0$ , pues tiene menor número de

parámetros (es más parsimonioso). Si  $D > \chi^2_{1-\alpha; p-q}$ , entonces rechazaremos  $H_0$  y adaptaremos el modelo correspondiente a  $H_1$ , provisto que da una mejor descripción de los datos.

Puede notarse que lo anterior equivale a comparar dos modelos A y B, por medio de la diferencia de devianzas:

$$-2 \ln \lambda = \text{Devianza A} - \text{Devianza B}$$

en general esta diferencia de devianzas tiene distribución asintótica  $\chi^2_{p-q}$ .

En el caso Normal con enlace identidad:

$$\frac{D_A/n-q}{D_B/n-p} \sim F_{n-q, n-p}$$

y tenemos un test exacto..

## 7. ANALISIS DE LA DEVIANZA (ANODEV)

El análisis de la varianza (ANOVA) es una técnica muy útil para medir los efectos de factores e interacciones. Para extender esta técnica a los modelos lineales generalizados debemos tener en cuenta que las sumas de cuadrados, para distribuciones distintas de la normal, no son una medida apropiada de la contribución de un término a la discrepancia total. Los términos del análisis de varianza pueden ser vistos como las primeras diferencias de la bondad de ajuste para una secuencia de modelos anidados o encajonados (cada uno contiene un término más que el anterior, desde el modelo nulo  $\Phi$ , al modelo saturado). Así un modelo de diseño factorial con dos factores con interacción origina un ANOVA con tres términos A, B y A·B; las sumas de cuadrados (S.C.) para estos tres términos son las primeras diferencias de las sumas de cuadrado residual obtenidas al ajustar sucesivamente los modelos:

$$\Phi, A, A + B, A + B + A \cdot B$$

A título de ejemplo, supongamos la situación que se indica en el cuadro siguiente:

A la izquierda está la secuencia de modelos con sus discrepancias (devianzas), como medidas de la suma de cuadrados residual; nótese que el último modelo es

MODELO	G. LIB.	DEVIANZA	ANOVA		
			S.C.	G. LIB.	TERMINO
$\Phi$	11	1000			
			400	3	A IGNORANDO B
A	8	60			
			200	2	B ELIMINANDO A
A + B	6	400			
			400	6	AB ELIMINANDO A y B
A + B + AB	0	0			

el modelo saturado, tiene tantos parámetros como observaciones, por lo tanto sus grados de libertad y discrepancia son cero. A la derecha está la tabla ANOVA, con las sumas de cuadrados (S.C.) obtenidas de las primeras diferencias de las discrepancias. Nótese que la discrepancia del modelo nulo  $\Phi$  es exactamente la suma de cuadrados total en torno a la media en la tabla ANOVA. Así la forma de extender el ANOVA está clara. Dada una secuencia de modelos anidados, podemos usar la devianza como nuestra medida generalizada de discrepancia y forma una tabla de análisis de devianza, tomando las primeras diferencias, como en el ejemplo dado. En el caso normal con enlace identidad se mide la significación de las diferencias de devianzas, usando la distribución F de Snedecor, como en el ANOVA clásico.

En el ajuste de modelos lineales generalizados, se utilizan fórmulas para los modelos. Las fórmulas pueden estar compuestas por identificadores (variables y/o factores) y operadores.

Los operadores son:

- + : incluye los efectos principales
- : incluye los efectos de interacción
- \* : incluye efectos principales y de interacción
- : elimina un término
- / : anida un factor

Ejemplos:  $A + B = A + B$   
 $A \cdot B = A + B$   
 $A * B = A + B + A \cdot B$   
 $A * B - A \cdot B = A + B$   
 $A / B = A + A \cdot B$

## 8. UN EJEMPLO DE APLICACION

En la tabla se muestran los porcentajes (respuesta) de calorías total obtenidas, por 20 diabéticos que estuvieron sometidos a una dieta de alto contenido en carbohidratos durante seis meses. Como variables explicatorias se consideró la edad (en años), el peso (relativo a peso ideal según estatura) y otras componentes de la dieta como el porcentaje de calorías en forma de proteínas.

CARBOHIDRATO Y	EDAD X <sub>1</sub>	PESO X <sub>2</sub>	PROTEINA X <sub>3</sub>
33	33	100	14
40	47	92	15
37	49	135	18
27	35	144	12
30	46	140	15
43	52	101	15
34	62	95	14
48	23	101	17
30	32	98	15
38	42	105	14
50	31	108	17
51	61	85	19
30	63	130	19
36	40	127	20
41	50	109	15
42	64	107	16
46	56	117	18
24	61	100	13
35	48	118	18
37	28	102	14



TABLA A

MODELO	FORMULA PREDICTOR LINEAL	DEVIANZA	GRDS. LIB.
$\phi$	$\beta_0 = \mu$	1093.00	19
$X_1$	$\beta_0 + \beta_1 X_1$	1089.00	18
$X_2$	$\beta_0 + \beta_1 X_2$	911.40	18
$X_3$	$\beta_0 + \beta_1 X_3$	858.70	18 (*)
$X_1 + X_2$	$\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2$	905.00	17
$X_1 + X_3$	$\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_3$	833.60	17
$X_2 + X_3$	$\beta_0 + \beta_1 X_2 + \beta_2 X_3$	606.60	17 (*)
$X_1 + X_2 + X_3$	$\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3$	567.70	16 (*)

TABLA B

FUENTE	S.C. = $D_A - D_B$	G. LIB = $G_A - G_B$	CUADRADO MEDIO	F
$X_3$	234.3 = 1093 - 858.70	19 - 18 = 1	234.3	6.60
$X_2/X_3$	252.1 = 858.70 - 606.60	18 - 17 = 1	252.1	7.11
$X_1/X_2, X_3$	38.9 = 606.60 - 567.70	17 - 16 = 1	38.9	1.09
RESIDUO	567.70	20 - 4 = 16	35.48	

$F_{0.975; 1; 16} = 6.12$   
 $F_{0.99; 1; 16} = 8.53$   
 $F_{0.95; 1; 16} = 4.49$

Haciendo uso del paquete estadístico del sistema GLIM (Generalized Linear Interactive Modelling), se ajustaron todos los modelos que se indican en la tabla siguiente, con sus correspondientes devianzas y grados de libertad (ver tabla A).

NOTA: En este ajuste se indicó **error normal** y función de enlace **identidad**, lo cual equivale a un modelo de regresión lineal.

Los modelos que aparentemente mejor ajustan los datos están indicados con (\*) de acuerdo a la reducción de la devianza (suma de cuadrados residual para cada modelo). Con esta información puede construirse una tabla ANOVA jerárquico (ver tabla B).

**CONCLUSIONES:**

- 1) El modelo  $X_1 + X_2 + X_3$  no es significativo.
- 2) Los modelos  $X_3$  y  $X_2 + X_3$  son significativos al 5% y al 2.5%, siendo mejor  $X_2 + X_3$
- 3) Ninguno de los modelos es significativo al 1%.

Por lo tanto se adopta el modelo:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 (\text{PESO}) + b_2 (\text{PROTEINA})$$

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X_2 + b_2 X_3$$

$$Y = 33.12 - 0.2216X_2 + 1.8240X_3$$

TABLA RESUMEN

PARAMETRO	ESTIMADOR	ERROR STANDARD
$\beta_0$	$b_0 = 33.1300$	12.57000
$\beta_1$	$b_1 = -0.2216$	0.08326
$\beta_2$	$b_2 = 1.8240$	0.62330

R-CUADRADO: 0.4454 (44.54% VARIANZA EXPLICADA)

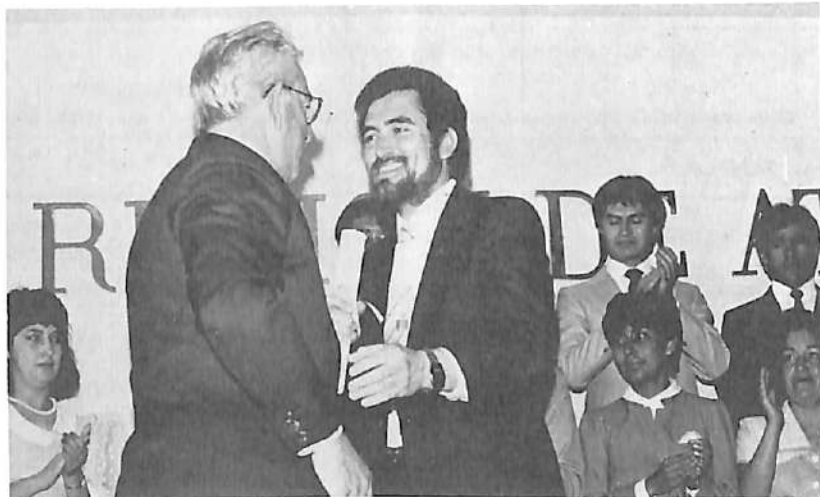
**BIBLIOGRAFIA**

- (1) NELDER Y McCULLAGH. GENERALIZED LINEAR MODELS. Chapman and Hall - London New-York (1983).
- (2) ANNETTE J. DOBSON. INTRODUCTION TO STATISTICAL MODELLING. Chapman and Hall - London New-York (1983)
- (3) GUILLERMO MARSHALL R. INTRODUCCION AL SISTEMA GLIM. Departamento Estadística P.U.C. Chile (1985).

## LOS PRIMEROS INGENIEROS CIVILES DE MINAS

Fernando Alvarez Matthews y Néstor Hernández Guajardo se convirtieron el martes 20 de agosto en los primeros ingenieros civiles de minas titulados netamente en la joven Universidad de Atacama y su Facultad de Ingeniería. Ambos estudiantes, y desde ese día nuevos profesionales, rindieron en forma sobresaliente su examen de titulación "Proyecto de explotación pilares Teniente 5 a Teniente 4 mina El Teniente"; recibiendo una calificación de 95 en la escala de 0 a 100, que equivale a sobresaliente.

Los académicos del Departamento de Ingeniería de Minas, Enrique Santibáñez C., Juan Navea D. y Rolando Porras D., integraron la comisión examinadora. En forma especial estuvieron presentes en el histórico acontecimiento, el Rector de la Universidad, ingeniero Vicente Rodríguez Bull, y el Decano de la Facultad de Ingeniería, Dr. Mario Meza M. varios docentes y estudiantes de cursos su-



Fernando Alvarez Matthews, uno de los dos primeros ingenieros de minas titulados en la UDA, recibe su diploma de título de manos del Rector, ingeniero Vicente Rodríguez Bull; durante la celebración del cuarto aniversario de la Universidad, (26 de octubre).

periores, también presenciaron el examen de titulación.

El examen se prolongó por una hora, incluyendo la exposición y preguntas, en el Salón de Confe-

rencias del Museo Mineralógico. Al término, el Rector se dirigió a los jóvenes flamantes ingenieros civiles de minas, diciéndoles que "nos sentimos felices de tener ya los dos primeros egresados al nivel de ingenieros civiles de minas". La máxima autoridad UDA les señaló que les correspondería abrir la senda a los futuros ingenieros civiles de minas de la Universidad de Atacama.

Los profesores guías del proyecto de titulación fueron Osvaldo Cautín M. (UDA) y Fernando Geister B. (Jefe Subrogante de Ingeniería de Minas de "El Teniente"). Fernando Alvarez y Néstor Hernández, junto con demostrar su felicidad por el logro alcanzado destacaron el apoyo recibido de parte de la División El Teniente de Codelco-Chile, especialmente por intermedio del superintendente general del Departamento de Mina, Héctor Cortés y el superintendente de Producción, Héctor Alva-



Fernando Alvarez Matthews (izquierda) y Néstor Hernández Guajardo (derecha), los felices primeros ingenieros civiles de minas titulados en la U. de Atacama y su Facultad de Ingeniería.

## CURSO EN VENEZUELA DICTO PROFESOR DE METALURGIA

El profesor Rolando Vega B., del Departamento de Metalurgia de la Facultad, dictó un curso sobre transporte hidráulico de sólidos en el Instituto Politécnico Experimental de ciudad Guayana, Puerto Ordaz, Venezuela (30 de septiembre al 8 de octubre).

La dictación del citado curso fue solicitada a la Facultad de Ingeniería UDA, a través del director del Instituto Politécnico de ciudad Guayana, el Dr. Máximo Benavides, chileno; especialista que concurrió en 1984 al IV Congreso de Ingeniería de Minas organizado por nuestra Facultad. En dicha ocasión, el Dr. Benavides se mostró muy bien impresionado por el nivel de los trabajos expuestos por los investigadores de la Universidad de Atacama.

A través de contactos con el di-

rector del Departamento de Metalurgia, Oscar Rivera P., y con el director del Instituto de Investigaciones Científicas y Tecnológicas UDA (IDICTEC), Dr. Germán Cáceres, se concretó finalmente la realización de la jornada en Venezuela a cargo del profesor Vega.

Los contenidos del curso se centraron en los balances "que constituyen verdaderos principios para el ingeniero", entregándose elementos a los participantes para que fueran capaces de diseñar líneas de transporte de relaves, dijo el académico. Agregó que podía considerarse que la UDA está a la vanguardia en el estudio del transporte hidráulico de sólidos, pues realiza investigaciones inmersa en la realidad industrial.

Como resultado de este aporte de la Facultad al Instituto Politéc-



Académico Rolando Vega B., quien dictó un curso en Venezuela sobre transporte hidráulico de sólidos.

nico de Guayana, la directora de dicha entidad venezolana, licenciada Aixa Viera, envió una nota oficial al decano de la Facultad, Dr. Mario Meza M., expresando sus agradecimientos y añadiendo textualmente: "Dr. Meza, creo que este ha sido un paso importante en el plano de la colaboración técnico científica entre ambas instituciones y es nuestro deseo que los planes a desarrollar en un futuro próximo, en el campo de la extensión e investigación, puedan concretarse".

## ACADEMICO DE LA FACULTAD SE PERFECCIONO EN JAPON



Tras cumplir un programa de perfeccionamiento en procesamiento de minerales y metalurgia en Japón, el académico José Palacios Guzmán se reintegró en septiembre a sus actividades docentes en el Departamento de Metalurgia de nuestra Facultad.

El profesor Palacios permaneció un año en la importante nación oriental, asistiendo a un cur-

so sobre "Procesamiento de minerales y metalurgia" y desarrollando la investigación "Lixiviación amoniaca de depósitos de cobre arsénico obtenidos del proceso de purificación del electrólito de refinación".

Las actividades de perfeccionamiento del académico se realizaron gracias al patrocinio de la Agencia Japonesa para la Coopera-

ción (JICA). El trabajo se concentró en la Universidad de Tohoku, en la ciudad de Sendai (400 kilómetros al noreste de Tokio), en el Instituto de Investigación en Procesamiento de Minerales y Metalurgia (SENKEN).

Junto con la experiencia y perfeccionamiento obtenido, el docente José Palacios tuvo la satisfacción que parte de su trabajo de investigación fuera presentado en el Encuentro Anual del Instituto de Minas y Metalurgia de Japón, actividad en la que participaron los más destacados investigadores japoneses en las áreas mencionadas. En esa ocasión, fue el único latinoamericano en llevar un aporte y uno de los pocos extranjeros participantes.

El avance del Japón en procesamiento de minerales y metalurgia en Japón —explicó el profesor Palacios— no es muy diferente con Chile en las ciencias básicas, pero en la disponibilidad de medios para la investigación e infraestructura científica ellos cuentan con grandes ventajas.

## EGRESADO MAS ANTIGUO FIRMO LIBRO DE ORO

La conmemoración del cuarto aniversario de la Universidad de Atacama, el 26 de octubre, tuvo una fase especialmente emotiva con la apertura del Libro de oro de Registro de Egresados.

El primer egresado que firmó dicho Libro fue Eduardo Arriagada Hurtado, el más antiguo, egresado de la Escuela Práctica de Minas en 1926, institución hoy vigente en la Universidad de Atacama y en su Facultad de Ingeniería.

Tras poner su firma en el histórico registro, Eduardo Arriagada Hurtado pronunció un emocionado discurso que fue acogido cálidamente por los asistentes a la solemne ceremonia de aniversario. Por su significado y el valor incalculable que tendrá con el paso de los años, lo incluimos textualmente:

"Es para mí un gran honor haber sido designado en esta ocasión para firmar el Libro de Registro, el Libro de Oro. Y esta designación ha sido posible debido a la benevolencia de un gran chileno, mi estimado amigo don Vicente Rodríguez Bull.

"Desde hace mucho tiempo tengo contacto con él, y para mí es un gran placer afirmar esto: cuando se le hacen insinuaciones sobre posibilidades de progreso para la Universidad, él lo atiende. Y recibimos nosotros su respuesta positiva, diciéndonos que cuanto uno diga que signifique algo superior para la Universidad, el lo pondrá en marcha; eso es un gran hecho, tener un hombre que reciba las cosas en esa forma.

"Por eso me siento orgulloso que haya sido él quien me haya nombrado para esta ocasión, a pesar de que yo —no es pretensión— no soy el más viejo, hay otros...

"Eso sería todo mi estimado amigo.

"Ahora deseo para la Universidad la mejor suerte y espero que todos mis colegas así como me ha pasado a mí, insinúen cualquier cosa que sea positiva para la Universidad y se la manden a nuestro Rector, que es un gran Rector, un gran amigo y, repito, un gran chileno. Eso es todo, señores".



El momento inolvidable, histórico, en que el ingeniero de minas Eduardo Arriagada Hurtado, egresado en 1926 de la Escuela Práctica de Minas, estampa su firma en el Libro de Egresados UDA

## SEMINARIOS DE CMP PARA ALUMNOS:

### APOYO A LA UDA Y SU FACULTAD

En una generosa demostración de apoyo a la Universidad y a su Facultad de Ingeniería, la Compañía Minera del Pacífico (CMP), realizó en 1985 dos seminarios dirigidos a alumnos del último año de estudios, en las carreras de Ingeniería Civil de Minas e Ingeniería Civil en Metalurgia, respectivamente. Los futuros profesionales, tuvieron oportunidad de aplicar sus conocimientos a la realidad práctica de una gran empresa minera del hierro, en contacto directo con las faenas y actividad industrial.

El primer seminario aludido se efectuó desde el 24 al 28 de junio bajo la denominación "Proyecto Cielo Abierto '85", favoreciendo a 16 jóvenes que se encuentran en la última etapa de formación como ingenieros civiles de minas.

Las actividades del torneo se desarrollaron íntegramente en Minas de Hierro El Algarrobo, a 1300 metros sobre el nivel del mar y a 40 kilómetros al suroeste de Vallenar. Incluyó la exposición de un amplio temario, a cargo de los principales profesionales de la Mina. Por parte de la Universidad, los estudiantes contaron con el apoyo académico del profesor Mario Fribla, especialista en minería a cielo abierto.

Durante el mismo encuentro, se llevaron a cabo análisis de aplicaciones específicas de la ingeniería a la explotación minera a cielo abierto, con especial mención a la minería del hierro. La delegación universitaria recibió la experiencia de los profesionales de la CMP,



Estudiantes del último año de Ingeniería Civil de Minas apreciando en terreno la minería cielo abierto en Minas El Algarrobo.

además de tener la oportunidad de un acceso a recorrer ampliamente las faenas de explotación en Algarrobo C. y Penoso, yacimientos que se explotan a cielo abierto, así como conocer las demás instalaciones.

#### PLANTA DE PELLETS DE HUASCO

El segundo seminario tuvo lugar en noviembre (18 al 22) y estuvo dedicado a la Planta de Pellets de Huasco. Participaron ocho

alumnos que están culminando sus estudios en Ingeniería Civil en Metalurgia, acompañados de los académicos René Bustamante M., y Viterbo Soto R.

Con el aporte de 20 profesionales de la Planta de Pellets, que entregaron conocimientos y capacidades producto de su trayectoria y experiencia, los estudiantes vivieron la situación única de conocer ampliamente los procesos de la pelletización en la propia Planta de Huasco. Posteriormente, los días 13 y 14 de diciembre continuaron con el tema puertos y embarques, coincidiendo esta fase con actividad portuaria.

Como un feliz resultado adicional del seminario, se concretó la oportunidad para que dos estudiantes de Ingeniería Civil en Metalurgia, Víctor Toro George y Domingo Rojas Ossandón, efectúen sus memorias de titulación en la Planta de Pellets de Huasco, en 1986.

## MODERNA BIBLIOTECA PARA LA UNIVERSIDAD DE ATACAMA

Gracias a un aporte especial de cuarenta millones de pesos, otorgado por gestión del Presidente de la República, Capitán General Augusto Pinochet Ugarte, la Universidad de Atacama construirá una moderna biblioteca que incorporará el uso de la computación.

La construcción se iniciará en los primeros meses de 1986, concretando así el proyecto prioritario del Plan Maestro de Desarrollo Físico de la UDA orientado a dar a la Alta Casa de Estudios Superiores una nueva estructura física, moderna y eficiente. El edificio constará de dos pisos que albergarán salas de lectura, sección de fotocopiado, áreas de servicios, cubículos de seminario, pasillos de lectura, sala de reuniones, hall de acceso, hall de distribución; disponiendo de ventanales, cúpula y patio de luz.

El funcionamiento de la Biblioteca contempla sistemas de estantería cerrada y abierta. El aspecto

más avanzado del proyecto, es la disposición de un terminal de computación conectado a la Red Nacional de Biblioteca del país y con acceso al Sistema de Banco de Datos ECOM Internacional.

"Es un paso de gran importancia, pues consolidará más la infraestructura de la Universidad y nos hará posible tener para nuestros alumnos y académicos una herra-

mienta de valor incalculable, para la docencia y la formación", comentó el Rector, ingeniero Vicente Rodríguez Bull, refiriéndose al proyecto. Y agregó: "Es un hecho extraordinario, construiremos una Biblioteca Central con capacidad para 50 mil volúmenes y más, de acuerdo a la magnitud que está alcanzando la joven Universidad de Atacama".

Acerca de la ubicación de la construcción dentro del recinto de la Universidad, se informó que esta corresponde a parte de los terrenos de la cancha de fútbol que se sitúa hacia el Area Norte de la UDA.

El Rector de la Universidad, ingeniero Vicente Rodríguez Bull, señala en el plano del Plan Maestro, el lugar que ocupará la Biblioteca Central por construir.



## Señaló el decano en reunión anual:

# FRANCO CRECIMIENTO DE LA INVESTIGACION EN LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA U.D.A.

La actividad de investigación en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Atacama está en franco crecimiento desde hace tres años, avance que está evidenciado en un mayor número de proyectos científicos, participación en encuentros técnicos y publicaciones.

Esta positiva realidad fue dada a conocer por el decano de la Facultad de Ingeniería, Dr. Mario Meza Maldonado, en la reunión anual de dicha Facultad correspondiente al período académico 1985. Esta sesión, se desarrolló en el Palacete de la Universidad, Area Sur, con la asistencia de las principales autoridades de la UDA, encabezadas por el Rector, ingeniero Vicente Rodríguez Bull, y académicos.

El decano Mario Meza indicó que en 1985 la Facultad desarrolló 20 proyectos de investigación con financiamiento de la Universidad, otros cuatro con fondos nacionales de la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica, y dos proyectos multinacionales de la Organización de Estados Americanos.

Efectuando una comparación

con los años anteriores, el progreso de la Facultad en la investigación científica es notable. En 1982 se desarrolló un solo proyecto y al año siguiente rápidamente se pasó a efectuar trece; impulsados con aportes de la UDA. Durante 1984 también se ejecutaron 13 proyectos de investigación, pero además se desarrollaron otros tres con fondos aportados por CONICYT.

Ha sido notable en los dos últimos años la incorporación de proyectos apoyados por CONICYT, y en 1985 además los respaldados por OEA, porque ello está demostrando un nivel de prestigio creciente de la Facultad de Ingeniería UDA y un reconocimiento a su capacidad científico-tecnológica de parte de organismos que promueven la ciencia y la tecnología.

En la reunión anual de la Facultad de Ingeniería 1985, el profesor Mario Meza indicó que los proyectos con CONICYT, permitieron efectuar trabajos de titulación tanto a nivel de Ingeniería Civil como de Ingeniería de Ejecución. Agregó que la investigación en la Facultad, se efectúa en un 55 por ciento con recursos exteriores.

Simultáneamente, las publicaciones científicas internacionales también se han incrementado notablemente en los últimos tres años. De una sola en 1982, se aumentó a cinco en 1983. El año 1984 se registraron diez publicaciones científicas internacionales y en 1985, nueve. Ello indica que la Facultad está logrando una presencia creciente y constante en el concierto de las publicaciones científico-técnicas, a nivel internacional.

### CUENTA DE DEPARTAMENTOS

Posteriormente a la intervención del decano Mario Meza, se entregaron cuentas de las actividades del año 1985 de todos los Departamentos: Ciencias Básicas, Ingeniería de Minas, Ingeniería en Metalurgia, Escuela de Tecnología. Igualmente, se dio cuenta del trabajo realizado por el Instituto de Investigaciones Científicas y Tecnologías UDA, el IDICTEC.

## INSTITUTO DE INGENIEROS DE MINAS:

### RECONOCIMIENTO PARA LA FACULTAD

Los ingenieros civiles, de minas o metalurgia, formados en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Atacama, serán admitidos en el Instituto de Ingenieros de Minas de Chile por una reciente decisión adoptada por este organismo. Este hecho constituye un respaldo de trascendental importancia para las actividades académicas de la Facultad.

El Instituto de Ingenieros de Minas de Chile, en su última sesión de 1985, el día 26, acordó por unanimidad admitir en su seno a los ingenieros civiles formados en la Universidad de Atacama y en su Facultad de Ingeniería. Ello sitúa a la Facultad de Ingeniería y a la UDA, en igualdad de consideración que las universidades tradicionales chilenas.

Este importante acontecimiento agrega un antecedente más de acreditación de la Universidad y la Facultad. Se ha dado un paso más en el esfuerzo permanente por aumentar el prestigio académico en el ámbito universitario y en el científico-técnico, y en las empresas relacionadas con minería y colegios e institutos profesionales de ingenieros.

La decisión del Instituto de Ingenieros de Minas de Chile, corona felizmente una legítima aspiración de la Facultad de Ingeniería UDA, la que constituyó una especial preocupación del decano Dr. Mario Meza. Al mismo tiempo, el logro fue alcanzado exitosamente por las gestiones del destacado ingeniero civil de minas Andrés Zaquevich K., miembro de la Honorable Junta Directiva de la universidad de Atacama, y el ingeniero civil de minas Estéban Domic M., reconocido profesional y docente de la Facultad.

*Dr. Mario Meza M., por segundo período:*

## NOMBRADO DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA EN U. DE ATACAMA

La Honorable Junta Directiva de la Universidad de Atacama nombró Decano de la Facultad de Ingeniería, por un segundo período, al profesor Mario Meza Maldonado, Dr. en metalurgia y ciencia de materiales. La decisión de la H. Junta Directiva UDA, adoptada en su primera sesión del año, es la culminación del proceso de nombramiento iniciado el tres de marzo con una Consulta al Cuerpo Académico Regular de la Facultad.

El proceso de nombramiento de Decano de la Facultad de Ingeniería, cumplido de acuerdo a los Estatutos de la Universidad, se inició en el presente mes luego de haber terminado el receso universitario anual. Por haber concluido su período en el cargo en enero, correspondió proceder al nombramiento de Decano, cargo que hasta ese momento también ejercía el Dr. Mario Meza M.

### CURRICULUM

El profesor Mario Meza Maldonado efectuó sus estudios básicos en el Liceo Experimental Manuel de Salas, donde también prosiguió su formación secundaria. En 1967 ingresó a la Universidad Técnica del Estado, donde se tituló de ingeniero civil metalúrgico (1972). Posteriormente efectuó estudios para el Doctorado en la University of Pennsylvania (1976-1980), alcanzando este grado (Ph.D.) en metalurgia y ciencia de materiales, becado por el citado centro de Educación Superior de USA.

Dentro de sus antecedentes se suman actualizaciones universitarias, participación en torneos de su especialidad, asistencia a cursos de postgrado, autoría de trabajos científicos-tecnológicos, cargos administrativos, actividad profesional y una amplia labor de docencia. Su labor académica la inició en 1972, en la Universidad Técnica del Estado, la cual culminó con su incorporación a la Universidad de Atacama.

En la UDA, el Dr. Meza fue nombrado Decano de la Facultad de Ingeniería, correspondiéndole dirigirla en éstos, los primeros años de la Universidad Atacameña. Ahora, continuará en dicho cargo, por un segundo período de tres años, según establecen los Estatutos universitarios.

Durante la presentación de la Memoria Anual 1985, efectuada en enero pasado, el Dr. Meza des-

### FRANCO CRECIMIENTO

tacó el franco crecimiento de la Facultad de Ingeniería en los tres años procedentes. Como ejemplo de ello se dieron a conocer las cifras de más proyectos científicos, así como el incremento de la participación en encuentros técnicos y las publicaciones.

Durante 1985, la Facultad de Ingeniería cumplió 20 proyectos de investigación con financiamiento de la Universidad. A ellos se debe agregar otros cuatro realizados con fondos nacionales de la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica, y dos proyectos multinacionales apoyados por la Organización de Estados Americanos.

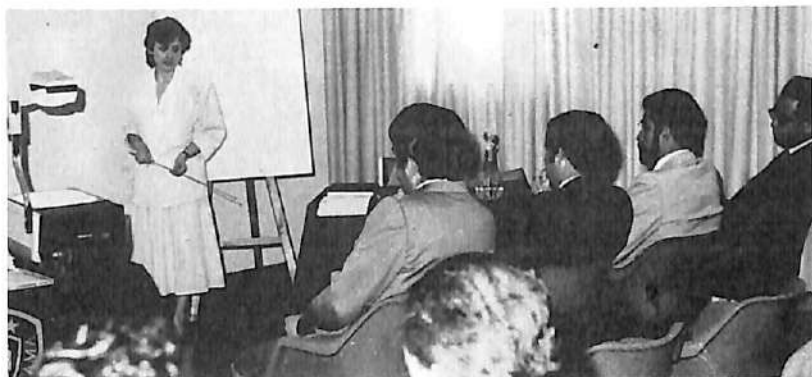
En la formación de profesionales, la Facultad forma ingenieros de ejecución en minas y en metalurgia extractiva, así como ingenieros civiles, de minas y en metalurgia. Además existen las carreras de tecnologías universitarias en diferentes especialidades.

Recientemente, a fines de diciembre 1985, el Instituto de Ingenieros de Minas de Chile aprobó por unanimidad acoger en su seno a los ingenieros civiles de minas formados en la Universidad de Atacama. Ello ha venido a dar un respaldo a la formación de la Facultad de Ingeniería de nuevos profesionales.

A.M.M.

## UNA MUJER:

### Primer Ingeniero Civil en Metalurgia



Delia Gamboa Beltramin, rindiendo su examen de grado para convertirse en el primer ingeniero civil en metalurgia titulado en la Universidad de Atacama (23 de diciembre 1985).

Una mujer, la señorita Delia Gamboa Beltramin, se convirtió en el primer ingeniero civil en metalurgia titulado en la Universidad de Atacama. El histórico y trascendente acontecimiento de la Facultad de Ingeniería UDA, se registró el lunes 23 de diciembre de 1985, al mediodía.

La señorita Delia Gamboa rindió un brillante examen de titulación en el Salón de Conferencias del Museo Mineralógico de la Universidad. Expuso sobre "Aplicación de un modelo multifásico a la simulación estática y dinámica de la flotación rougher de Codelco División Salvador".

El proyecto de tesis de la flamante profesional, significó nueve meses de intenso trabajo en la Planta Concentradora de la División Salvador de Codelco-Chile, bajo la supervisión de los profesores guías Arturo Christiansen M. (académico del Departamento de Metalurgia de la Facultad de Ingeniería) y Bernardo Soto R. (ingeniero civil en metalurgia, jefe del proyecto de automatización integral de la División Salvador).

Durante aproximadamente 45 minutos Delia Gamboa expuso su trabajo ante la comisión evaluadora integrada por los profesores Arturo Christiansen M., Viterbo Soto R., Osvaldo Pavéz M. y Oscar Rivera P., todos académicos del Departamento de Metalurgia.

Luego de la etapa de preguntas, la exposición y defensa de tesis fue calificada por la comisión con un 99 en la escala de 0 a 100 puntos. Esta calificación, promediada con el resultado de la revisión de tesis (un 95), significó la obtención del título de ingeniero civil en metalurgia con 97 puntos, un rendimiento excelente.

El extraordinario suceso académico tuvo como testigos adicionales a académicos, autoridades universitarias como el decano de la Facultad de Ingeniería, Dr. Mario Meza M., e invitados. Como aspecto final, el feliz momento fue festejado con un cóctel.

#### FELIZ

"Estoy feliz después de haber esperado tanto tiempo este momento; es una etapa superada y creo que exitosamente", dijo la nueva ingeniero al comentar su examen en esos vívidos instantes. Señaló que su tesis la había desarrollado gracias a una beca de la División Salvador, donde continuaría trabajando por un año más.

Bernardo Soto R., el profesional que la guió por parte de la División Salvador, expresó que el estudio de Delia Gamboa contribuirá el esfuerzo de la División por un proceso de flotación y de concentración más óptimo.

# GRAN PASO DEL IDICTEC:

## NUEV

Con la incorporación de nuevos equipos, el Instituto de Investigaciones Científicas y Tecnológicas dio un gran paso en el desarrollo tecnológico de sus laboratorios para mejorar sus servicios en bien de la investigación y empresas usuarias.

El flamante equipamiento incorporado oficialmente al IDICTEC el 17 de diciembre pasado con una breve ceremonia, corresponde a un avanzado molino pulverizador marca Tema (de fabricación holandesa), una estufa de secado Memmer (alemana) y un peachímetro Radiometer hecho en Dinamarca que mide PH en pulpas de flotación. Tales implementos fueron especialmente seleccionados para su diseño y avanzada tecnología; significando una inversión del orden de los seis millones de pesos que se obtuvieron de recursos autogenerados por la Unidad.

"Este equipamiento, indudablemente que es un gran paso tecnológico que hará posible un mejor procesamiento de las muestras de minerales y una mejor realización de las pruebas metalúrgicas; tanto en nuestras prestaciones de servicios a empresas mineras como en el apoyo a la docencia e investigación, lo cual ahora estamos en condiciones de cumplir en forma más óptima", comentó al respecto el director del Instituto, Dr. Germán Cáceres A.



## BASE DE DATOS PARA LA MINERIA REGIONAL, DESARROLLO EN EXAMEN

### NUEVO INGENIERO CIVIL DE MINAS

El estudiante de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Atacama, Leonel Arístides Robledo Magnata, se tituló de ingeniero civil de minas haciendo una contribución al desarrollo de un mecanismo que permita un fácil y rápido acceso a la información geológica-minera de la III Región mediante la existencia de una Base de Datos computacional.

El nombre de la tesis de titulación defendida por el ahora profesional ingeniero, es "Diseño e implementación computacional de una Base de Datos minera regional". Este trabajo lo desarrolló con la guía del académico Hernán Menares Day, docente del Departamento de Minas.

En su examen de grado, el joven Leonel Robledo demostró la forma en que desarrolló e implementó computacionalmente a nivel experimental una Base de Datos conteniendo información de minas, plantas de tratamiento, fundiciones, refinerías y geología de sectores o distritos de la III Región; con un rápido acceso y recuperación de la información allí almacenada.

La principal tarea del joven ti-

tulado, fue crear la estructura computacional que satisficiera los requerimientos de la mencionada Base de Datos, estableciendo criterios, por ejemplo, de qué cosas ingresar. Por lo extenso del sistema a escala regional, se probó el diseño con una cierta cantidad de información.

#### EL EXAMEN

El examen de titulación se prolongó por más de dos horas y media en el Salón de Conferencias del Museo Mineralógico, ante una comisión integrada por los profesores UDA Enrique Santibáñez y Hernán Menares Day, además de la Dra. en informática y cibernética Felisa Córdova C., docente de la Universidad de Santiago. La calificación del trabajo fue de 100 puntos, al igual que la memoria escrita, con lo cual Leonel Robledo obtuvo su título de ingeniero civil de minas con la calificación máxima.

En la ocasión estuvieron presentes el Rector UDA, ingeniero Vicente Rodríguez Bull, y el Decano de la Facultad, Dr. Mario Meza M.

# OS EQUIPOS

#### EN FUNCIONES

Los nuevos equipos fueron puestos en funciones luego de una ceremonia inaugural a la que asistieron el Rector UDA, ingeniero Vicente Rodríguez Bull, el Vice-Rector, profesor Enrique Lillo A., el decano de la Facultad de Ingeniería, Dr. Mario Meza M., otras autoridades universitarias y académicos.

Luego de una explicación general sobre las características de los equipos y el beneficio que entregarán con su utilización, el Dr. Cáceres invitó al Rector a poner en marcha el molino pulverizador, el más importante de los nuevos equipos.

En relación a este importante avance en la infraestructura material de los laboratorios del IDICTEC, el Rector Vicente Rodríguez dijo que "es un progreso notable que como Universidad deseamos poner al servicio de la Región y de los mineros, al servicio de la investigación y de la ciencia".

"Estamos muy contentos -agregó la autoridad UDA- de que se hayan hecho esfuerzos para servir a la Región y a la docencia; es interesante que lo ha generado el mismo IDICTEC, sin afectar los recursos destinados a las actividades académicas".



Examen de título de Leonel Robledo Magnata, frente a la comisión examinadora, autoridades universitarias e invitados.

## PUBLICACIONES CIENTIFICAS Y TECNOLOGICAS 1985

La actividad de investigación en la Facultad durante el año 1985 se caracterizó por el desarrollo de veinte Proyectos con financiamiento de la Universidad, cuatro Proyectos con recursos del Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico de CO-NICYT y dos Proyectos multinationales de la O.E.A. los cuales hasta el momento han dado origen a las siguientes publicaciones:

---

- "LIXIVIACION DE MINERALES DE MANGANESO"

Sr. MARCOS GONZALEZ M. y MARCOS MARTIN - IV CONGRESO NACIONAL DE METALURGIA U.T.F.S.M.

---

- "LIXIVIACION AMONIACAL DE DEPOSITOS DE COBRE ARSENICO"

Sr. JOSE PALACIOS G. - IV CONGRESO NACIONAL DE METALURGIA U.T.F.S.M.

---

- "EVALUACION TECNICA DE PLANTAS DE CHANCADO"

Sres. ANGEL ASTORGA F., OSVALDO PAVEZ M. y AMILCAR ALVAREZ I. IV CONGRESO NACIONAL DE METALURGIA U.T.F.S.M.

---

- "RELACION MICROESTRUCTURA RESISTENCIA Y DUCTILIDAD EN ALEACIONES Cu-Al DE FASE DUAL, LAMINADAS EN CALIENTE"

Sres. RODRIGO PALMA H., JUAN CARLOS BOLIVAR y OSCAR RIVERA P. IV CONGRESO NACIONAL DE METALURGIA U.T.F.S.M.

---

- "FLOTACION DE MINERALES DE ORO DE DIFERENTES ASOCIACIONES MINERALOGICAS".

Sres. VITERBO SOTO R., OSVALDO PAVEZ M., NOLBERTO TRIGO y JUAN PIFFARDI. II CONGRESO LATINOAMERICANO DE FLOTACION, UNIVERSIDAD DE CONCEPCION.

---

- "EVALUACION MEDIANTE MODELOS CINETICOS DE FLOTACION DE REACTIVOS PIRO-TIO-CARBONATOS DE DIETILO".

Sres. OSVALDO PAVEZ M., VITERBO SOTO R. y MAGLIO DEBERNARDI II CONGRESO LATINOAMERICANO DE FLOTACION.

---

- "MINERALES AURIFEROS: RELACION ENTRE FORMA DEL ORO Y SU COMPORTAMIENTO FRENTE A LA FLOTACION"

Sres. OSVALDO PAVEZ M. y VITERBO SOTO R. - SEXTA ASAMBLEA DE CENIM, ESPAÑA.

---

- "OXIDATION OF ARSENIUS ACID IN AMMONIACAL SOLUTION UNDER OXYGEN PRESSURE ATMOSPHERE".

Sr. JOSE PALACIOS G. - SPRING MEETING OF MINING AND METALLURGY INSTITUTE OF JAPAN, TOKIO, JAPON.

---

- "AMMONIACAL LEACHING OF COPPER-ARSENIC DEPOSIT FROM PURIFICATION OF COPPER REFINING ELECTROLYTE".

Sr. JOSE PALACIOS G. - INTERNATIONAL MEETING IN MINERAL DRESSING AND EXTRACTIVE METALLURGY, TOHOKU UNIVERSITY, SENDAI, JAPAN.

**HIMNO ESCUELA DE  
MINAS COPIAPO**

*Adelante estudiante minero  
que tu alma tesoro ya es  
alma noble forjada en la escuela  
del estudio el esfuerzo y el bien*

*De frente al porvenir  
tu lema es estudiar  
la gloria del vivir  
reside en trabajar*

*A cantar y que vibre tu vida  
en un himno de amor fraternal  
y se inflame tu pecho minero  
en la lid del trabajo y la paz*

*De la veta fecunda de tu alma  
do anida el más puro ideal  
brotan siempre estudiantes mineros  
el deber y la verdad*

*Gloria a tí oh escuela querida  
templo augusto de gran majestad  
en tus aulas rebulle el afecto  
cual filón de armonía sin*

*De frente al porvenir  
tu lema es estudiar  
la gloria del vivir  
reside en trabajar*



**HIMNO A LA UNIVERSIDAD**

*Tras siglos de historia forjada  
surge entre rocas y chañares  
cual corona del inca iluminada  
por valientes mineros de Atacama.*

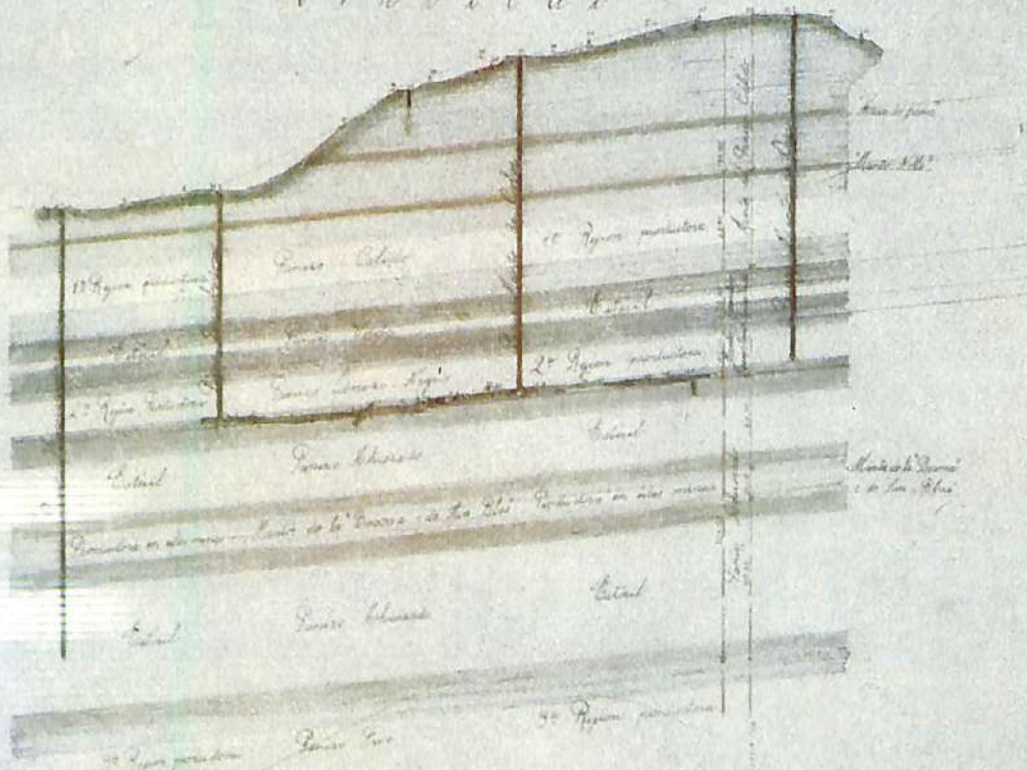
*Con pujante martillo de plata  
trascurren estos hombres que orgullosos*

UNIVERSIDAD DE ATACAMA  
REVISTA DE INFORMACION DE LA FACULTAD  
**UNIVERSIDAD DE ATACAMA**  
**REVISTA DE INFORMACION DE LA FACULTAD**  
**DE INGENIERIA**

**AÑO 1 N°1 OCTUBRE 1985**

# CHAÑARILLO.

Vertical



Horizontal

1880