



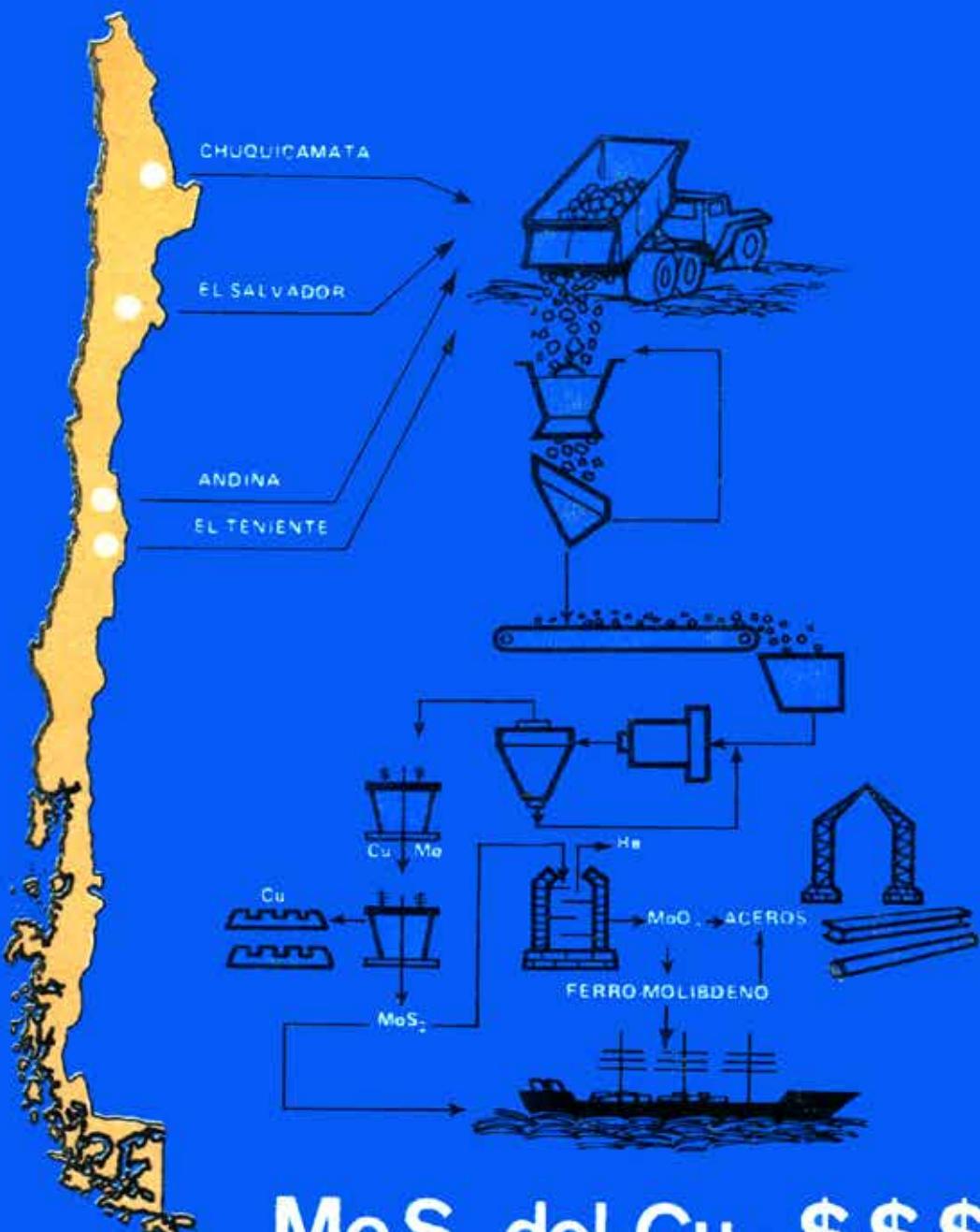
# CONTACTO

REVISTA DEL DEPARTAMENTO DE METALURGIA

UNIVERSIDAD TECNICA DEL ESTADO - FACULTAD DE INGENIERIA

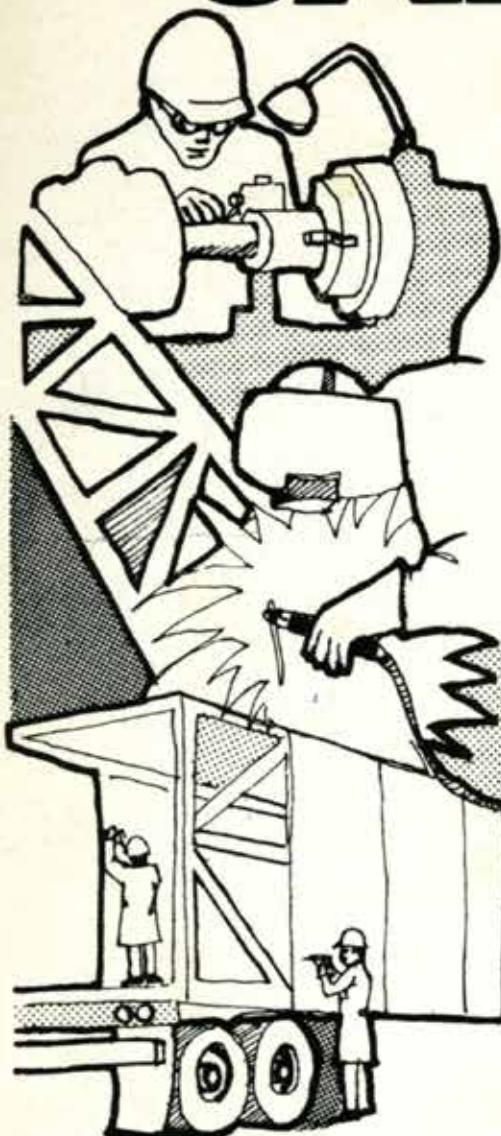
MAYO DE 1979

Nº 6



**MoS<sub>2</sub> del Cu = \$\$\$**

# SABIMET



**25 años  
abasteciendo  
para  
el progreso.**

En sus Departamentos Barraca, Aceros Especiales y Máquinas Herramientas SABIMET ofrece los más variados productos y un servicio especializado para atender integralmente las necesidades de sus clientes:

- Línea completa de Productos CAP,
- Perfiles nacionales e importados,
- Productos para Fundición,
- Cañerías y Tubos,
- Aceros nacionales en planchas y barras,
- Aceros Especiales RÖCHLING de Alemania,
- Maquinaria Industrial,
- Máquinas Herramientas
- Herramientas, Accesorios, etc.



**SABIMET S.A.**  
*abastece para el progreso.*

**Sucursales:**

Paraguay 851  
Fono 23665  
Antofagasta

Arturo Prat 1002  
Fono 29005  
Concepción.

Barraca de Fierro

Santa Rosa 2305  
Fonos. 568047-8-9

Aceros Especiales

Víctor Manuel 1827-1831  
Fono 569045-6

Maquinas Herramientas

Santa Rosa 1838  
Fono 569045-6

**C**on esta nueva edición de CONTACTO, la primera correspondiente al presente año, iniciamos un ciclo de extensión y difusión de las labores académicas y profesionales programadas para su realización durante el año 1979.

Los objetivos y las políticas establecidas por el Gobierno Central de la Universidad Técnica del Estado, para llevar a cabo en forma exitosa las funciones que le son propias, plantean permanentemente un desafío de superación a todas las unidades académicas que integran la Institución.

Consciente del rol y de la responsabilidad que le cabe en la etapa actual de desarrollo, las principales actividades del Departamento de Metalurgia han sido encaradas hacia metas definidas fundamentalmente por la formación integral de los futuros profesionales y todas aquellas funciones que de una o de otra manera juegan un papel imprescindible en dicha formación. De interés resulta destacar la participación en el Proyecto Multinacional de Metalurgia de la Organización de Estados Americanos, que ha permitido ubicar al Departamento en el ámbito internacional en cuanto a la investigación científica y tecnológica se refiere. En estrecha relación con ello, se encuentra próximo a su iniciación el Programa de Graduados en Ciencias de la Ingeniería Metalúrgica, con cuya realización se contribuirá a la generación de profesionales de excelencia académica en la especialidad.

Mención especial merece la organización del "Primer Congreso Nacional de Metalurgia", evento que se llevará a cabo durante el mes de noviembre próximo, con el principal objetivo de lograr un encuentro de todos los especialistas que laboran en el campo de la ciencia y tecnología de los metales, esperando así coordinar los esfuerzos orientados al avance de la disciplina.

Finalmente, estimamos de gran importancia destacar que, a partir de la presente edición, CONTACTO dependerá tanto en su contenido técnico como en su administración comercial, del Departamento de Metalurgia. Es así que, su realización ha sido posible gracias al valioso aporte de todas las empresas e instituciones que la requieren como un medio de difusión, permitiendo de ese modo la continuidad de un órgano que no persigue fines de lucro, sino que tan sólo efectuar la importante labor de dar a conocer el quehacer académico en estrecha relación con el sector productivo.





# CONTACTO

REVISTA DEL DEPARTAMENTO DE METALURGIA  
UNIVERSIDAD TECNICA DEL ESTADO - FACULTAD DE INGENIERIA.

## REVISTA CONTACTO

Departamento de Metalurgia

Nº 6 MAYO 1979

**Director:**

Ing. Raúl Ramírez Salas

**Comité de Redacción:**

Ing. Jaime Rauld F.

Dr. Marco Solar

Ing. Raúl Ramírez S.

**Colaboran en esta Edición:**

Dr. Jorge Garín C.

Ing. Alexander Sutulov

Dr. Nelson Santander M.

Ing. Fernando Cañas P.

Ing. Rubén Fuentelba F.

Ing. Víctor Osorio

Ing. Hugo Levy S.

Prof. Sergio Prenafeta J.

Ing. Patricio Rodríguez H.

Sr. Juan Valencia

Ing. Jaime Rauld F.

Ing. Fernando Díaz J.

Sr. Norberto Pontt

Dr. José Zagal

**Secretarías:**

Sra. Blanca Morris

Sra. Marta González G.

**Fotógrafo:**

Adrián Orrego

**Diagramación:**

Eugenio Santiago G.

**Composición e Impresión:**

Talleres Gráficos U.T.E.

Franco Velasco 38



**CONTACTO**

REVISTA DEL DEPARTAMENTO DE METALURGIA



MoS<sub>2</sub> del Cu - 555

**Nuestra Portada:**

Molibdenita, subproducto de nuestro Cobre.

## SUMARIO

ROL DE CHILE EN LA INDUSTRIA MUNDIAL DE MOLIBDENO.	3
FORJADORES DE UNA NUEVA CIENCIA. W. GIBBS.	7
CONTAMINACION CON FOSFORO DE LOS CONCENTRADOS DE MOLIBDENITA AL USAR EL REACTIVO NOXES.	11
EL DIFÍCIL OFICIO DE HACER CIENCIA.	17
ASPECTOS METALURGICOS GENERALES DE LA SOLDADURA DE ACEROS AL CARBONO Y DE BAJA ALEACION.	25
VIUDO DE VERANO.	33
CORROSION, UN FENOMENO DE INTEGRACION CIENTIFICA.	38
EMPLEO DE SULFIDRATO DE SODIO COMO DEPRESANTE DE COBRE EN LA RECUPERACION DE MOLIBDENITA.	42
INTERCAMBIO TECNOLOGICO	47
PRIMER CONGRESO NACIONAL DE METALURGIA.	49
NOTAS BREVES	54
METALOGRAMA	60

# ROL DE CHILE EN LA INDUSTRIA MUNDIAL DE MOLIBDENO



Alexander Sutulov,  
Director Ejecutivo  
Centro de Investigación  
Minera y Metalúrgica

**G**racias a su inmensa riqueza cuprífera depositada principalmente en cobres porfíricos, Chile también juega un importante rol en recursos y abastos mundiales de molibdeno. En efecto, es el segundo país más importante en recursos mundiales de molibdeno, después de EE.UU. y el tercer productor más importante en la escala internacional, después de EE.UU. y Canadá.

Como es sabido, un 98% de los recursos minerales de molibdeno se encuentran en dos tipos de yacimientos: molibdenos porfíricos y cobres porfíricos. En el fondo, son yacimientos del mismo tipo en lo que se refiere a su baja ley, diseminación muy fina y volumen más grande, sólo que en el primer caso hay una predominancia de mineralización molibdica, que generalmente al-

MINERAL DEL SALVADOR – Vista General



cancia entre 0,1% y 0,5% de Mo con muy pequeñas cantidades del cobre u otros metales y con considerables cantidades de pirita; mientras que en el segundo caso, se trata de una clara predominancia de mineralización cuprífera y pirítica con cantidades mucho menores de molibdenita. Típicamente un cobre porfírico tiene entre 0,3% y 2% de Cu y entre 0,005% y 0,05% Mo.

Por esta misma razón, en el primer caso, se trata de recuperación de molibdeno como el producto principal, mientras en el segundo caso el molibdeno se recupera como sub-producto. Otra diferencia entre los dos tipos de yacimientos es que mientras la molibdenita de los yacimientos porfíricos de molibdeno contiene muy poco renio —entre 1 y 10 ppm., los yacimientos de cobre porfíricos contienen molibdenita de alto contenido de renio— entre 100 y 2.500 ppm.

La producción mundial de molibdeno hoy día alcanza a unas 95.000 Tons. de contenido fino de molibdeno, de las cuales un 55% a 60% lo producen seis minas que contienen molibdeno como mineralización principal, mientras que el otro 40% corresponde a las minas que recuperan molibdeno como sub-producto. Estas son en un 90% minerales de cobre porfíricos y el otro 10% corresponde a sub-productos o co-productos de menas complejas con tungsteno, bismuto u otros metales, principalmente encontrados en Asia.

De las 93.405 tm. de Mo producidas en 1977,

55.524 tm. corresponden a EE.UU.; 16.400 tm. a Canadá y casi 11.000 tm. a Chile (en 1978 la producción aumentó a 13.196 tm.). Otros productores de importancia son: URSS con 9.200 tm.; China con 1.500 tm.; Perú con 450 tm. y Japón y Bulgaria con 140 tm. cada uno. Mientras que EE.UU. y Canadá, como países industriales, tienen un importante consumo interno, sin perjuicio de que quedan con un excedente sustancial para la exportación, Chile destina casi la totalidad de su producción a las ventas al exterior. Es así como las ventas chilenas de molibdeno han subido de US\$ 23,7 millones en 1970 a US\$ 43,2 millones en 1974; US\$ 106 millones en 1977 y se espera alcanzar una cifra superior a US\$ 170 millones en el año 1979. Con esto, el molibdeno pasa a ser el segundo metal más importante del país después del cobre y considerablemente más importante que el hierro.

La situación privilegiada de Chile en recursos de molibdeno resalta todavía en forma más pronunciada si se toma en cuenta que el Hemisferio Occidental es el poseedor de más del 85% de los recursos mundiales de molibdeno y también de su producción. En efecto, los EE.UU., Canadá y Chile poseen más de 3/4 partes, tanto de recursos como de la producción mundial de molibdeno; un hecho de gran significación geopolítica si se toma en cuenta la importancia estratégica de este metal.

El siguiente cuadro se explica por sí mismo.

Vista General de una Planta de Molibdeno — Climax — en IOWA





Modernísima Planta de Ácido Sulfúrico de una Planta de Molibdeno que soluciona todos los problemas ecológicos.

	Producción en tm.	Recursos en 10 <sup>3</sup> tm.
Estados Unidos	55.500	5.559
Canadá	16.500	2.080
Chile	13.000	2.680
Otros	10.500	4.500
Total	95.500	14.800

Hay que recalcar, que en materia de recursos, otros países Latinoamericanos, tales como México, Panamá, Perú y Argentina también tienen sustanciales reservas de molibdeno, aunque todavía no son grandes productores.

La creciente importancia del molibdeno proviene de su gran uso como metal para ferroaleaciones que tienen gran demanda en aceros de construcción, para buques, puentes, edificios de gran altura, estructuras, etc. En seguida, como un componente importante de aceros inoxidables, para todo tipo de equipos químicos, espaciales y de gran resistencia a la oxidación bajo condiciones especiales; otro grupo importante son los aceros de alta velocidad que sirven para brocas de perforadoras, herramientas y piezas de gran resistencia mecánica; hay también un alto consumo de molib-

deno en fundiciones de piezas, en la industria automotriz y en super-aleaciones. Los usos químicos del molibdeno contemplan aplicaciones tan variadas como sales y pinturas, catalizadores y lubricantes, reactivos químicos y fertilizantes. Además, una parte sustancial del molibdeno se convierte en molibdeno metálico que se usa en la industria electrónica y la metalurgia de polvos.

La demanda del molibdeno proviene principalmente de sus propiedades extraordinarias, que el metal demuestra tanto en forma pura como en aleaciones, aunque la cantidad agregada a un acero, típicamente es de entre 0,1 y 0,5% del contenido total. Por ejemplo, contrariamente a otros metales, el molibdeno se endurece con el aumento de temperatura, por lo que sirve para piezas que deben mantener su dureza a altas temperaturas. También su módulo de elasticidad no sufre cambios sustanciales con el cambio de temperatura, lo que lo hace un material ideal para áreas donde se trabaja con bruscos cambios de temperaturas. Por ejemplo: las tuberías para el petróleo y gas hoy en día se hacen con materiales denominados HSLA —high strength low alloy steels— aceros de alta resistencia y bajo porcentaje de material aleado que es Mo y que magníficamente sirven en áreas árticas con temperaturas que

pueden variar entre 30°C y menos 450°C, en el Ártico, Siberia, Alaska y Canadá. También el molibdeno demuestra otras valiosas propiedades tales como su alto punto de fusión, su alta resistencia a la corrosión, su alta conductividad térmica, su bajo calor específico, su bajo coeficiente de expansión, etc.

La producción de molibdeno en Chile comenzó en 1939, en el mineral de El Teniente, donde este metal se recupera en forma de subproducto. Pese a la limitada producción, que en los primeros años fluctuó entre 600 y 1.000 Tons. por año, Chile inmediatamente ocupó un importante lugar en la producción internacional. En esa época, los EE.UU. suplía un 90% de los abastos internacionales y del 10% restante a Chile le correspondía la mitad.

La producción chilena se fortaleció al instalarse las plantas de sub-productos en los minerales de Chuquicamata y el Salvador a partir del año 1960. Si en 1959 la producción chilena alcanzaba sólo a 1.250 tpa., ya en 1962 aumentó a 3.000 tpa., en 1966 a 5.400 Tons. y a partir de 1974 sobrepasa las 9.000 tpa. En efecto, en los últimos tres años la producción media anual ha sido de alrededor de 12.000 tpa.

La producción chilena de molibdeno se exporta casi íntegramente, ya que tiene escasos usos domésticos. Los mercados más importantes se encuentran en Europa Occidental, particularmente en Gran Bretaña, Holanda, Bélgica, Luxemburgo, Suecia y en otros países industrializados, tales como Japón, África del Sur y otros. Chile exporta su producción en forma de concentrados de molibdenita, de óxido de molibdeno y en forma de ferromolibdeno. Hay una clara tendencia de aumentar el grado de elaboración de la materia prima para quedar con mayor plusvalía sobre el producto. La industria nacional elaboradora de

productos de molibdeno es: Molibdenos y Metales, MOLYMET, que obtiene sus abastos de CODELCO-CHILE. También, CODELCO exporta productos fuera del país para tratarlos a maquila para evitar pago de tarifas y optimizar sus entradas.

#### Fabricación de Ferrosilicatos en Alemania.



## METALURGICA SUDAMERICANA S.A.

LAS VIOLETAS 5926 FONO 572254 - CASILLA 51 CERRILLOS - SANTIAGO



### DISCOS PARA IMPLEMENTOS AGRICOLAS

Nuestra planta está en condiciones de fabricar sobre pedido una gran cantidad de piezas y partes elaboradas o semi-elaboradas tales como raspadores para arados y rastras, piezas estampadas, partes que requieren tratamiento térmico, etc.



FORJADORES DE UNA NUEVA  
CIENCIA

# GIBBS

PADRE  
DE LA  
TERMODINAMICA  
QUIMICA



Dr. Ing. Nelson Santander  
Profesor Jornada Completa  
del Depto. Metalurgia UTE.

**S**i hay un científico cuyo nombre gravite fuertemente en la fundamentación teórica de la Termodinámica empleada por nosotros los metalurgistas, ese es sin duda WILLARD GIBBS. Como eterno testimonio de ello están las conocidas expresiones matemáticas de Gibbs y Duhamel, de Gibbs y Helmholtz, y de Gibbs y Margules, su conocida isotermia de adsorción, su representación gráfica triangular para sistemas ternarios, y su más célebre creación, su regla de las fases. En honor a su trascendental contribución, los termodinámicos han honrado con su nombre a una de las funciones más importantes que existen en su cuerpo doctrinario: a la función energía libre  $G$ , conocida hoy simplemente como ENERGIA DE GIBBS.

Cabe entonces preguntarse, ¿quién fue este hombre tan genial? Es nuestro deseo, precisamente, hacer aquí un breve recuento histórico de la vida de este brillante científico.

Nació Gibbs en la ciudad de New Haven ubicada en el estado de Connecticut frente a Long Island y vecino al estado de New York, el día 11 de Febrero de 1839, y falleció en esa misma ciudad el día 28 de Abril de 1903. Fue bautizado con los nombres de pila JOSIAH WILLARD, pero la posteridad lo conoció simplemente como Willard Gibbs. Ingresó al Yale College en 1854, graduándose en 1858, distinguiéndose particularmente en Latín y en Matemáticas. Continuó sus estudios de postgrado en New Haven, doctorándose en 1863. Posteriormente, viajó a Europa donde tuvo oportunidad de tomar contacto con la tradición científica alemana. En la ciudad de Heidelberg conoció en 1868 a los célebres científicos Kirchhoff y Helmholtz, encuentro que tuvo enorme repercusión en el desarrollo histórico de la Termodinámica Química.

En Junio de 1869 regresó Gibbs a su ciudad natal, siendo nominado Professor (Profesor Titular) en Física Matemática en el Yale College en 1871.

A los 34 años de edad, en 1873 dio a conocer las primeras evidencias de su creatividad como genial e infatigable investigador en la física matemática, al publicar dos interesantes artículos en la revista científica *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences*.

En 1876 publicó la primera parte de su extenso trabajo titulado "Acerca del Equilibrio de Sustancias Heterogéneas" obra que se considera como su más importante contribución a la ciencia física. Es precisamente en esta publicación donde se deriva por primera vez la relación matemática conocida como la Regla de las Fases. Este evento fue profusamente celebrado en la comunidad científica internacional al cumplirse en 1976 el primer centenario de dicha publicación.

¿En qué momentos de la historia de la Termodinámica hizo Gibbs sus aportes científicos? Para dar respuesta a esta pregunta observaremos la siguiente cronología:

- 1824: Se establece el ciclo de Carnot.
- 1842: Mayer enuncia la equivalencia del calor y el trabajo mecánico.
- 1845: Joule determina el equivalente mecánico del calor.
- 1847: Helmholtz generaliza las ideas de Joule hacia la ley de conservación de la energía.
- 1850: Clausius da su enunciado al 2º principio y define el concepto de entropía.
- 1851: Kelvin define el concepto de energía.
- 1852: Kelvin da su enunciado al 2º principio.

Se puede ver entonces que las bases de lo que hoy llamamos Termodinámica Clásica ya estaban planteadas en la primera mitad del siglo pasado. Al entrar Gibbs a participar del concierto Termodi-

námico se estaba entrando ya al terreno de aplicar la Termodinámica Clásica a dos campos bien diferenciados:

- a las máquinas térmicas
- b) a los fenómenos químicos

Las aplicaciones a las máquinas térmicas dio origen a la Termodinámica Técnica que es de tanta utilidad principalmente para los ingenieros mecánicos.

Es en la segunda aplicación donde Gibbs puso claramente de manifiesto su creativa colaboración. Desde un comienzo mostró Gibbs una clara tendencia a recurrir a representaciones gráficas que sirvieran como ayuda para poder imaginar los fenómenos que ellos representan. Así introdujo por ejemplo los diagramas volumen-entropía y los diagramas tridimensionales volumen-entropía-energía.

Dada la rigurosidad de su tratamiento matemático así como del elevado nivel teórico de sus deducciones, la obra de Gibbs permaneció ignorada por varios años, y sólo al ser traducida al alemán por Ostwald en 1891, y al francés por Le Chatelier en 1899, comenzó a tener acceso a un ambiente científico mucho más amplio. Debemos recordar que a fines del siglo pasado, EE.UU. era aún un territorio de pioneros, científicamente muy por debajo del Viejo Continente.

En sus trabajos, Gibbs cubrió áreas tan diversas como el análisis vectorial, la astronomía, el electromagnetismo, la mecánica estadística, la óptica, la electroquímica y las presiones osmóticas. Su capacidad creativa fue sin duda tan amplia como su sed de conocimiento.

El año 1887 Roozeboom en Alemania dio aplicabilidad práctica a la Regla de las Fases de Gibbs, constituyéndola en piedra angular del estudio del Equilibrio Heterogéneo. Curiosamente, años antes el químico van't Hoff, ignorando los trabajos de Gibbs, había enunciado una "Ley de la Incompatibilidad de Sistemas Condensados" que en muchos aspectos coincidía con la Regla de las Fases.



Fig. 2

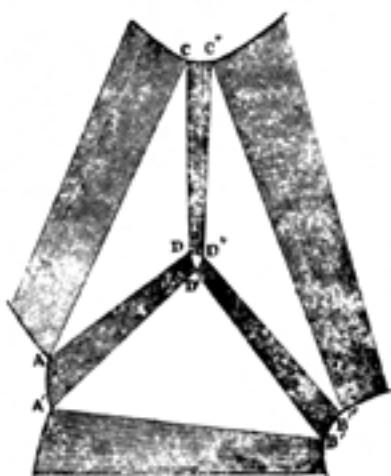


Fig. 3.

## ON THE EQUILIBRIUM OF HETEROGENEOUS SUBSTANCES

[Transactions of the Connecticut Academy, III, pp. 106-245, Oct., 1873-May, 1874, and pp. 313-326, May, 1877-July, 1878.]

"Die Energie der Welt ist konstant.  
Die Kette der Welt steht stets Maximum an."  
CLAVICER.

The comprehension of the laws which govern any material system is greatly facilitated by considering the energy and entropy of the system in the various states of which it is capable. As the difference of the values of the energy for any two states represents the combined amount of work and heat received or yielded by the system when it is brought from one state to the other, and the difference of entropy is the limit of all the possible values of the integral  $\int \frac{dQ}{T}$ , where  $dQ$  denotes the element of the heat received from external sources, and  $T$  the temperature of the part of the system receiving it; the varying values of the energy and entropy characteristic in all that is essential the effects producible by the system in passing from one state to another. For by mechanical and thermodynamic covariants, supposed theoretically perfect, any supply of work and heat may be transformed into any other which does not differ from it either in the amounts of work and heat taken together or in the value of the integral  $\int \frac{dQ}{T}$ . But it is not only in respect to the external relations of a system that its energy and entropy are of predominant importance. As in the case of simply mechanical systems, such as are discussed in theoretical mechanics, which are capable of only one kind of action upon external systems, viz., the performance of mechanical work, the function which expresses the capability of the system for this kind of action also plays the leading part in the theory of equilibrium, the condition of equilibrium being that the variation of this function shall vanish, so in a thermodynamic system, such as all material systems actually are, which is capable of

\* Prop. Am. Acad. 1877, p. 313; or American Museum, Albany, N.Y.

La vida privada del profesor Gibbs fue sin embargo muy reservada, jamás se casó, vivió siempre en la misma casa de New Haven, y al parecer fue un hombre relativamente tímido. Fue muy modesto con respecto a su obra, muy constante y sistemático en su trabajo, y curiosamente no necesitó del estímulo del diálogo o la crítica tan esenciales en el desarrollo científico. Carente de ambiciones personales no intelectuales, y del más mínimo deseo de exaltación, puede decirse que fue un hombre no egoísta y profun-

damente cristiano. Sin embargo, la magnitud de su obra y la trascendencia de su contribución en el desarrollo científico moderno lo hacen más que acreedor al título con que hemos rotulado el presente artículo: Gibbs, padre de la Termodinámica Química.

## PUBLICACIONES DE GIBBS

1873

"Métodos Gráficos en la Termodinámica de Fluidos"  
Trans. Conn. Acad., vol. II, pág. 309-342.

"Un Método de representación geométrica de las propiedades Termodinámicas mediante superficies"  
Ibid., pág. 382-404.

1875-1878

"Acerca del Equilibrio de las sustancias Heterogéneas"  
Ibid., vol. III, pág. 108-248; pág. 343-524.

1879

"Acerca de las fórmulas fundamentales de la Dinámica"  
Amer. Jour. Math., vol. II, pág. 49-64.

"Acerca de las densidades de vapor del peróxido de nitrógeno, ácido fórmico, ácido acético y perchloruro de fósforo"

Amer. Jour. Sci. (3), vol. XVIII, pág. 277-293; pág. 371-387.

1882-1883

"Notas acerca de la teoría electromagnética de la luz".  
Amer. Jour. Sci. (3), vol. XXIII, pág. 262-275; pág. 460-476; vol. XXV, pág. 107-118.

1883

"Acerca de una discutida excepción a la segunda ley de la Termodinámica"

Science, vol. I, pág. 160.

1884

"Acerca de la fórmula fundamental de la mecánica estadística, con aplicaciones a la astronomía y a la Termodinámica" (Abstract).

Proc. Amer. Assoc. Adv. Sci., vol XXXIII, pág. 57-58.

1886

"Notas de la Velocidad de la luz en el aire y en medios refractantes" propuesta por Newcomb y Michelson, y de la "Optica Teórica", propuesta por Ketteler"

Amer. Jour. Sci. (3), vol. XXXI, pág. 62-67.

"Acerca de la velocidad de la luz medida con el espejo giratorio de Foucault"

Nature, vol. XXXIV, pág. 582.

"Acerca del álgebra múltiple"

Proc. Amer. Assoc. Adv. Sci., vol. XXXV, pág. 37-66.

1887-1888

"Termodinámica Electroquímica"

Rep. Brit. Assoc. Adv. Sci., pág. 388-389; pág. 343-346.

1888

"Una comparación de las teorías elástica y eléctrica de la luz, con respecto a la ley de refracción doble y la dispersión de los colores"

Amer. Jour. Sci. (3), vol. XXXV, pág. 467-475.

1889

"Una comparación de la teoría eléctrica de la luz y la teoría de Sir William Thomson del éter quasi lóbil"

Amer. Jour. Sci., vol. XXXVII, pág. 129-144.

"Acerca de la determinación de órbitas elípticas a partir de tres observaciones completas" Mem. Nat. Acad. Sci., vol. IV, pág. 79-104.

"Rudolf Julius Emanuel Clausius" Proc. Amer. Acad. (serie nueva), vol. XVI, pág. 458-465.

1891 "Acerca del rol de los cuaterniones en el álgebra vectorial" Nature, vol. XLIII, pág. 511-513.

"Los Cuaterniones y la Ausdehnungslehre" Nature, vol. XLIV, pág. 79-82.

1893 "Los Cuaterniones y el álgebra vectorial" Nature, vol. XLVII, pág. 463-464.

"Los Cuaterniones y el análisis vectorial" Nature, vol. XLVIII, pág. 364-367.

1896 "La velocidad de propagación de la fuerza electrostática" Nature, vol. LIII, pág. 509.

1897 "Peliculas semipermeables y presión osmótica" Nature, vol. LV, pág. 461-462.

"Hubert Anson Newton" Amer. Jour. Sci. (4), vol. III, pág. 359-376.

1898-1899 "Series de Fourier" Nature, vol. LIX, pág. 200-606.

1901 "Análisis Vectorial" (Texto de Estudio). C. Scribner's Sons.

1902 "Principios Elementales en mecánica estadística desarrollados con especial referencia a los fundamentos racionales de la Termodinámica" C. Scribner's Sons.



**BRONCERIAS NIBSA LIMITADA**  
¡Productos de calidad!

- GRIFERIA CROMADA
- VALVULAS INDUSTRIALES
- LLAVEIRIA
- CONEXIONES CON CERTIFICACION DE CALIDAD

#### VENTAS:

Juan Griego Nº 4429 - San Miguel  
Teléfonos: 51-12-17 / 51-93-65  
Vicuña Mackenna Nº 1449  
Teléfonos: 56-62-31 / 51-44-01 / 56-98-66

#### DISTRIBUIDOR:

H. BRIONES Y COMPAÑIA S.A.C.I. DE INGENIEROS  
Avenida Las Américas Nº 707  
Teléfonos: 57-17-44 / 57-35-04  
Casilla Nº 13510 Los Cerrillos



**ARMCO CHILE S.A.M.I.**

## PRODUCTOS PARA MOLIENDA

- Barras tratadas térmicamente "MOLY-COP" (55 Rc).
  - Bolas forjadas tratadas térmicamente "MOLY-COP" (65 Rc).
  - Bolas fundidas "MODIFIED NI-HARD" (62 Rc).
  - Bolas fundidas "HIGH CHROME" (68 Rc).
  - Revestimientos acero tratados térmicamente de "MINNEAPOLIS ELECTRIC STEEL CASTINGS Co." (514-601 Brinell).
  - Planchas precortadas alta resistencia a la abrasión e impacto "SUPER REM 500" de HEFLIN STEEL SUPPLY Co. (500 Brinell).
  - Equipos PSM 100 y 200.
- Analizador y controlador continuo de tamaño de partículas y densidad de pulpa de **ARMCO AUTOMETRICS**.

GERENCIA DE VENTAS  
Pedro de Valdivia 0193 - 9º piso  
Casilla 13475 - SANTIAGO  
Teléfono 234417  
Télex: 40301 BOOTH CL

**Fernando Cañas Pizarro**  
Jefe de Sección  
Investigación y Desarrollo  
Departamento Concentrador  
División EL TENIENTE



# contaminación con fósforo de los concentrados de molibdenita al usar el reactivo nokes

TRABAJO PRESENTADO AL  
"PRIMER CONGRESO DE INGENIEROS DEL COBRE"

## 1. INTRODUCCION

### 1.1. Proceso de Concentración

El proceso de concentración en la División el Teniente se realiza en los concentradores de Sewell y Colón. El primero ubicado a 2.200 m sobre el nivel del mar, entre los ríos Teniente y Coya con una capacidad de tratamiento de 31.800 TMSD. El concentrador Colón está ubicado aproximadamente a 1.800 m sobre el nivel del mar al norte del río Coya y tiene una capacidad de tratamiento de 25.600 TMSD.

Compartiendo la misma infraestructura del Concentrador Colón se encuentra la Planta de Retratamiento ubicada en el mismo edificio.

En ella se mezclan y se tratan los productos de ambos concentradores, esta mezcla de concentrados tiene un pH 4,3 ya que ambos concentradores trabajan en circuito ácido.

La producción de los concentradores es del orden de 2.870 TM/día con una ley de 26,1% de Cu total y 0,53% de molibdenita, ésta constituye la alimentación a la Planta de Retratamiento, la

cual se remuele previamente en Sewell y Colón.

La Planta de Retratamiento continúa el proceso de concentración depresando pirita en ambiente alcalino, para este efecto se agrega cal como modificador, hasta un pH 12,5 aproximado.

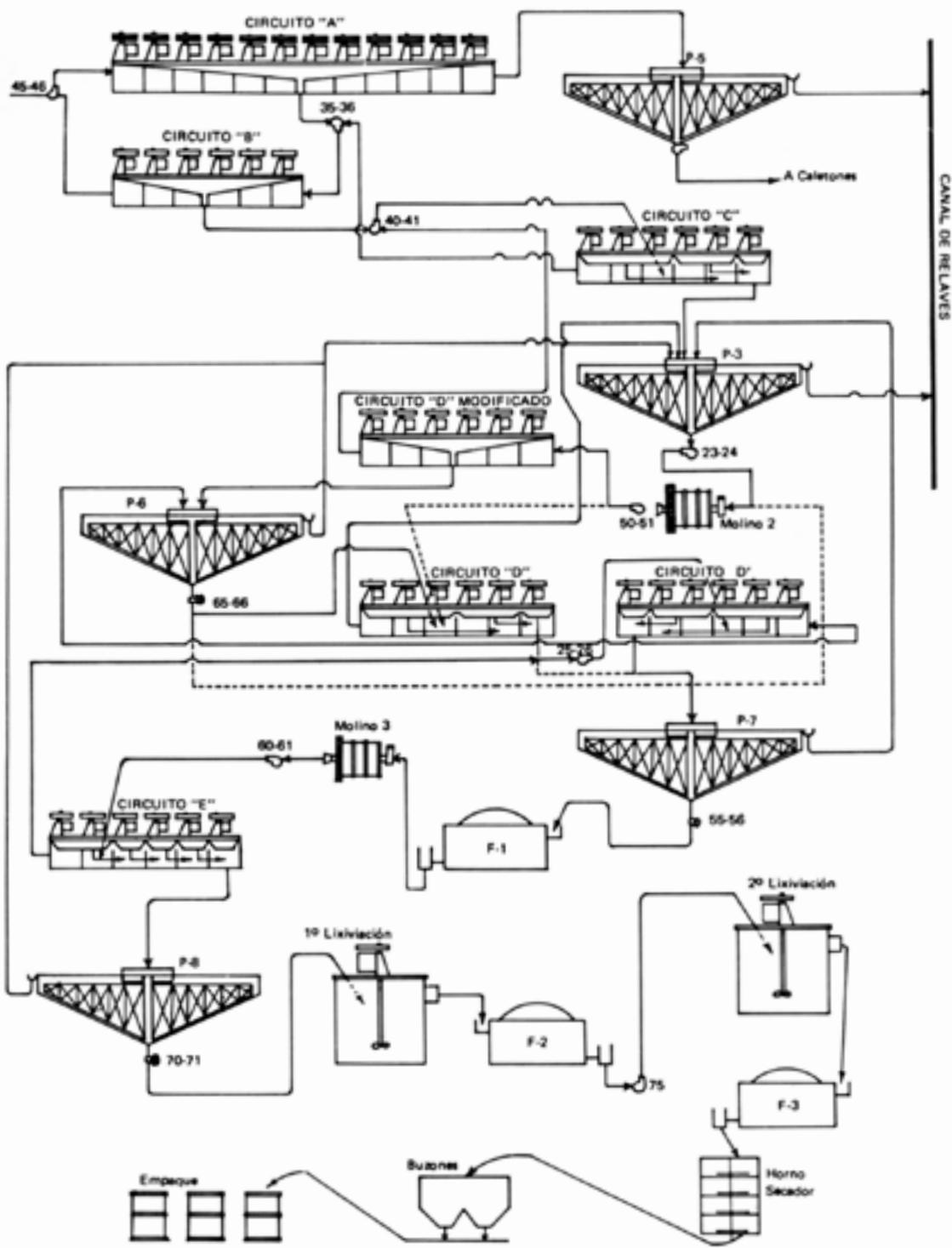
En estas condiciones, el material se trata en una etapa de flotación cuyas colas son enviadas a una flotación scavenger, el concentrado de las primeras celdas va a la planta de retratamiento de molibdenita y el de las últimas celdas vuelve a la primera flotación después de un espesaje conjunto con el concentrado del circuito scavenger.

Como resultado de este proceso se obtiene un concentrado de 39,2% de Cu y 0,70% de molibdenita que es enviado a la Planta de Molibdenita.

### 1.2. Planta de Molibdenita

La Planta de Molibdenita trata aproximadamente 1.840 TMSD de concentrados mixtos en un proceso de flotación selectiva en contracorriente con diferentes etapas de limpieza, en la figura 1 se muestra el diagrama de flujo de esta planta.

FIG. 1. PLANTA RETRATAMIENTO MOLIBDENITA



La primera etapa la constituye el Circuito "A" formado por cinco bancos de 12 celdas Fagergreen 66, en ellas se realiza la flotación de sulfuros de molibdeno y la depresión de sulfuros de cobre usando el reactivo LR-744.

El reactivo LR-744 se prepara en base a 130 g de hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) y 100 g de pentasulfuro de fósforo ( $\text{P}_2\text{S}_5$ ) diluidas en un litro de agua.

La producción de concentrados de molibdenita en la División El Teniente alcanza aproximadamente a 13 t/día con una ley promedio de 91,59% de  $\text{MoS}_2$ .

Los contenidos aceptados de fósforo en los concentrados finales son del orden de 0,06%.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 2.1. Contaminación del fósforo de los concentrados de Molibdenita

Por algún tiempo se detectó, en la producción de molibdenita una contaminación con fósforo que sólo pudo ser atribuida al reactivo depresante, ya que el mineral prácticamente no contiene fósforo.

Esto significa que el fósforo pasa de un estado en solución del reactivo, a un estado sólido al concentrado, ya que no es posible su eliminación con filtrados y repulidos. En términos químicos este efecto constituye una precipitación, lo que da origen a un problema más bien hidrometalúrgico que a un problema de flotación propiamente tal.

Bajo este concepto no se estudió la pulpa, sino solamente el agua de ella. Esta agua fue puesta en contacto con reactivos LR-744 (líquido) observándose la precipitación de un compuesto blanco. De acuerdo a lo estudiado se trataba de sales de fósforo, esta precipitación se produjo con un pH alto (12,5) por lo que se intentó evitar la precipitación bajando el pH y luego agregando el reactivo, esta acción no tuvo el efecto esperado.

Finalmente se determinó que la concentración de iones  $\text{H}^+$  no era determinante en la precipitación pero sí lo era el elemento que acompaña al modificador usado en la alcalinización. Dicho modificador es la cal ( $\text{CaO}$ ) y el elemento precipitante lo constituye el calcio, lo cual se demuestra con la constante de solubilidad de la siguiente ecuación química



donde, de la literatura:

$$[\text{Ca}]^3 \times [\text{PO}_4]^2 = 2 \times 10^{-29}$$

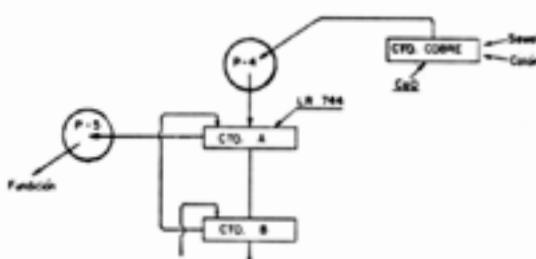
los radicales entre barras indican la concentración molar por litro de solución.

El radical  $\text{PO}_4^{3-}$  se formaría de una hidrólisis del pentasulfuro de fósforo del LR-744 y una ionización del  $\text{H}_3\text{PO}_4$



### 2.2. Cálculo de la precipitación de fósforo

Considerando la primera parte del circuito de molibdenita se tiene la siguiente disposición:



El agua de la pulpa del concentrado del circuito de cobre contiene una cantidad de iones  $\text{Ca}^{2+}$  que puede ser estimada en función del pH, el cual es aproximadamente 12,5.

$$[\text{H}] = 10^{-12,5} = 3,16 \times 10^{-13}$$

$$[\text{H}] \times [\text{OH}] = 10^{-14}$$

$$[\text{OH}] = 3,16 \times 10^{-2}$$

Además:



donde:

$$K_{\text{ps}} = 5,5 \times 10^{-6} \quad (3)$$

por lo tanto:

$$[\text{Ca}] \times [\text{OH}]^2 = 5,5 \times 10^{-6}$$

finalmente:

$$[\text{Ca}] = \frac{5,5 \times 10^{-6}}{(3,16 \times 10^{-2})^2} = 5,51 \times 10^{-3}$$

Tomando como base de cálculo 2.300 TMSD de concentrados de cobre con 43% de sólido aproximadamente, se tiene que el caudal de agua con iones calcio es:

$$\frac{2.300}{0.43} \times 0.57 = 3.05 \times 10^3 \left( \frac{m^3}{d} \right)$$

$$= 2.12 \times 10^3 \left( \frac{1t}{min} \right)$$

La dosificación del reactivo Nokes es de 13 lt/min con una composición de 130 g de Na(OH) y 100 gr de P<sub>2</sub>S<sub>5</sub> por litro de reactivo.

El radical (PO<sub>4</sub>)<sup>3-</sup> proviene de una hidrolización del pentasulfuro de fósforo representada por la siguiente ecuación química:



Suponiendo una hidrolización de sólo el 50% del P<sub>2</sub>S<sub>5</sub> esto es, sólo 50 gr/lt, teniendo en cuenta que el peso molecular de P<sub>2</sub>S<sub>5</sub> es de 142:

$$\text{moles de PO}_4^{3-} \text{ por litro} = \frac{50}{142} \times 2 = 0.70$$

Al agregar reactivo LR-744 a la pulpa se están mezclando 13 lts de solución con una concentración de PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> de 0.70 moles/litro y 2.12 × 10<sup>3</sup> lts de solución con una concentración de Ca<sup>2+</sup> de 5.51 × 10<sup>-3</sup> moles/lts.

El fosfato de calcio precipita de acuerdo con la reacción (1):



$$\text{donde } K_{ps_1} = 2.0 \times 10^{-29}$$

Llamando P<sub>P</sub> al número de moles de fosfato de calcio que precipita por litro de mezcla y haciendo un balance por [PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>] total y [Ca<sup>2+</sup>]

$$[Ca]_* + 3P_P = (5.51 \times 10^{-3}) \frac{2.12 \times 10^3}{(2.12 \times 10^3) + (13)}$$

$$= 5.476 \times 10^{-3}$$

$$[PO_4]_* + 2P_P = (0.70) \frac{13}{(2.12 \times 10^3) + (13)}$$

$$= 4.266 \times 10^{-3}$$

$$[Ca]_*^3 [PO_4]_*^2 = 2.0 \times 10^{-29}$$

donde el asterisco indica la concentración del equilibrio.

Con estas tres ecuaciones es posible obtener los siguientes valores:

$$[Ca^{2+}]_* = 3.749 \times 10^{-3}$$

$$[PO_4^{3-}]_* = 6.160 \times 10^{-4}$$

$$P_P = 1.825 \times 10^{-3}$$

En base a este análisis, el contenido de fósforo se puede controlar bajando la concentración de iones calcio en el agua de la pulpa de alimentación a la Planta de Molibdenita.

### 2.3 Disminución de la precipitación de Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> al disminuir los iones Ca<sup>2+</sup> en la solución de alimentación.

Basándose en el cálculo anterior se determinará la fracción (X) del precipitado P<sub>P</sub> que se producirá con una concentración variable (Y) de iones calcio.

Sea X una fracción (< 1) del precipitado P<sub>P</sub> calculado anteriormente.

Sea Y la concentración correspondiente a la precipitación X P<sub>P</sub>.

$$P_P = 1.825 \times 10^{-3}$$

$$[Ca^{2+}] + 3XP_P = (Y) \times \frac{2.12 \times 10^3}{2.133}$$

$$= 9.939 \times 10^{-1} Y$$

$$[PO_4^{3-}] + 2XP_P = 0.70 \frac{13}{2.133}$$

$$= 4.266 \times 10^{-3}$$

es decir:

$$[Ca^{2+}] + 5.475 \times 10^{-3} X = 9.939 \times 10^{-1} Y$$

$$[PO_4^{3-}] + 3.650 \times 10^{-3} X = 4.266 \times 10^{-3}$$

$$[PO_4^{3-}] = (4.266 \times 10^{-3}) - (3.650 \times 10^{-3}) X$$

Por otra parte

$$[Ca^{2+}]^3 = (2.0 \times 10^{-29}) [PO_4^{3-}]^{-2}$$

luego:

$$[\text{Ca}^{2+}] = (2,714 \times 10^{-10}) [\text{PO}_4^{3-}]^{-2/3}$$

$$[\text{Ca}^{2+}] = (2,714 \times 10^{-10}) [(4,266 \times 10^{-3}) \\ (3,650 \times 10^{-3}) X]^{-2/3}$$

entonces:

$$(2,714 \times 10^{-10}) [(4,266 \times 10^{-3})$$

$$(3,650 \times 10^{-3}) X]^{-2/3} +$$

$$+ 5,475 \times 10^{-3} X = 9,939 \times 10^{-1} Y$$

Despreciando el primer término de la suma

$$5,475 \times 10^{-3} X = 9,939 \times 10^{-1} Y$$

$$Y = 5,509 \times 10^{-3} X$$

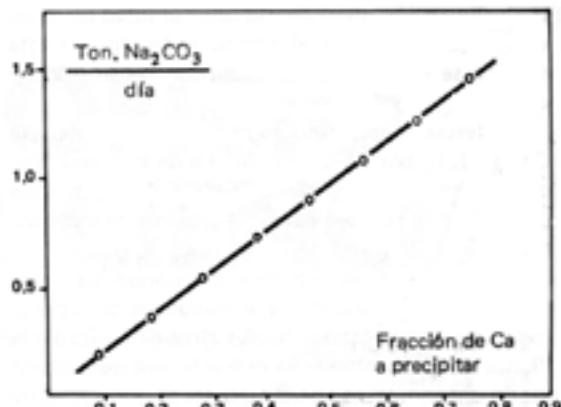
Cuando  $X = 1$ , precipita lo que se determinó en el cálculo anterior y la concentración de calcio ( $Y$ ) es la original  $5,508 \times 10^{-3}$

Cuando  $X = 0,5$ , es decir, precipita la mitad de lo calculado anteriormente, la concentración de calcio ( $Y$ ) es la mitad de la original.

Considerando que el elemento contaminante Ca se encuentra en solución en el agua de la pulpa, antes de ejercer su efecto negativo, este se puede eliminar junto con el agua por medio de una operación de espesamiento y un posterior repulpado para obtener nuevamente las condiciones de operación en relación al porcentaje de sólidos.

Otra forma de eliminar el calcio del agua es por medio de una precipitación como una sal no contaminante para el concentrado de molibdenita.

Un reactivo para este efecto lo constituye el carbonato de sodio, el cual puede precipitar iones calcio por medio del radical carbonato, formándose el carbonato de calcio, posteriormente se puede agregar el reactivo LR-744. El cálculo de la cantidad de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , para este efecto se basa en el caudal de agua de la pulpa de alimentación, el cual es apreciablemente mayor que el caudal de agua del concentrado final de molibdenita. La fig. 2 muestra los resultados obtenidos en términos del tonelaje diario de carbonato de sodio a agregar en función de la fracción de calcio a eliminar con respecto al valor inicial.



Termodinámicamente la estabilidad del  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  es mayor que la del  $\text{Ca}(\text{CO}_3)$  formándose nuevamente el primero. Cinéticamente es probable que la formación de  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  descomponiendo el  $\text{Ca}(\text{CO}_3)$  no se produzca; el valor de la constante de equilibrio de la reacción es del orden de  $10^3$  por lo que deben esperarse solamente condiciones cinéticas que impidan la nueva formación de  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ .

Una tercera alternativa es tratar los concentrados finales una vez formado el  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , lo que significa basar los cálculos en el caudal final de pulpa de concentrado, el cual es evidentemente menor que la alimentación a la planta.

Desde el punto de vista termodinámico se necesita un radical que forme una sal más estable, de tal modo que sea capaz de descomponer al  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  formado.

Desde el punto de vista cinético una baja velocidad de reacción, en este caso, constituye un problema.

Con un cálculo similar es posible determinar que con la presencia de iones fluoruro se produce un  $\text{CaF}_2$  más estable termodinámicamente que el  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ .

El ión fluoruro se obtiene de una solución de  $\text{NaF}$  cuya cantidad se debe calcular en base al caudal de concentrado final.

### 3. CONCLUSIONES

En la actualidad, la Planta de Molibdenita de la División El Teniente ha logrado efectivos progresos en el control del contenido de fósforo de los concentrados finales de molibdenita en base a un espesamiento previo de la carga a dicha planta y un posterior repulpado.

Otro medio de control ha sido una mayor exigencia en la calidad de la cal usada en la alcalinización. Una cal de mala calidad contiene cantidades de carbonato de calcio que no contribuye en

la alcalinización, pero aporta una cantidad de iones calcio que producen el efecto indicado, de esta manera se dispone de un segundo mecanismo de control.

El tercer mecanismo es la descomposición del  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  por medio de una sal de fluoruro, aun cuando en el primer mecanismo se tiene un total control de la contaminación en las condiciones actuales.

Respecto a la incidencia económica, este control ha significado una eliminación de recirculación de concentrados finales altos de fósforo a la Planta de Molibdenita, ya que este, era mecanismo usado anteriormente para bajar las impurezas. Otra incidencia económica la constituye el sistema de precio por el cual se rige el mercado de molibdenita el cual castiga el precio de concentrados contaminados.

El control de ión calcio para regular el contenido de fósforo, indirectamente, ha incidido en una mejor regulación del contenido de cobre. Antes de conocerse la incidencia del  $\text{Ca}^{2+}$ , se reducía la adición de LR-744 con el propósito de disminuir el fósforo, lo cual traía como consecuencia

una disminución en la depresión de cobre con la consiguiente contaminación del concentrado.

#### REFERENCIAS

- J.R. PARTINGTON, "Química General e Inorgánica" (1962).
- J.N. BUTLER, "Cálculos de pH y de solubilidad" (1968).
- Informe Departamento Concentrador División El Teniente CO-Met 01-78 "Investigación y determinación de la precipitación de fósforo en los concentrados de molibdenita"
- Informe Departamento Concentrador División El Teniente CO-Met 04-78 "Estudio metalúrgico del circuito Moly-Cobre "A"
- Informe Departamento Concentrador División El Teniente CO-109-78 "Molybdenite Recovery at El Teniente"
- Informes técnicos Departamento Concentrador División El Teniente relativos a Planta Molibdenita y Retratamiento.

## INDUSTRIAS GENERALES Y COMPLEMENTARIAS DEL GAS S.A.



ES UNA INDUSTRIA CHILENA DEDICADA ESPECIALMENTE A FABRICAR  
LO MEJOR EN TODA EL AREA QUE TENGA RELACION CON LA  
INDUSTRIA DEL GAS

- \* CALIFONT JUNKERS
- \* REGULADORES RACKOW
- \* MEDIDORES ELSTER
- \* VALVULAS RACKOW
- \* CILINDROS DE GAS
- \* CALEFACTORES AMBIENTALES

TODO EN VARIADOS TIPOS

Consulte directamente a:

Compañía 1555 – Teléfono 83041 – Casilla 4834 – Correo 2  
Fábrica: Logroño 3871 – Teléfono 795261  
SANTIAGO

Hugo Levy Salazar, Director de DICYT:

# EL DIFÍCIL OFICIO DE HACER CIENCIA

- Chile debería darle rango de Ministerio al organismo promotor y administrador de la ciencia y la tecnología.
- El incremento de la actividad de postgrado afianza en la UTE una productividad científica madura y de mayor reconocimiento.
- El nombre de Universidad "Técnica" ahoga muchas posibilidades académicas, de investigación y servicios en nuestra Casa de estudios.



"El mameluco y la grasa hicieron posible la industrialización del país, y a mucha honra que aquello haya sido producto de la querida Escuela de Artes y Oficios"

**Sergio Prenafeta Jenkin**

Departamento de Comunicaciones  
Vicerrectoría de Extensión y Comunicaciones



**S**e define como "producto genuino" de la Universidad Técnica del Estado, y lo cierto es que pocos académicos de esta Casa de estudios muestran una trayectoria ascendente tan enraizada en la historia, altibajos y proyecciones de los últimos 25 años de la UTE. Es que Hugo Levy Salazar ha pasado, desde el laboratorio y la sala de clases, a constituir una figura ampliamente respetada y apreciada por académicos, administrativos y alumnos.

Confiesa cuarenta y nueve años de edad y lo cierto es que los representa. Recuerda que una vez egresado de la Escuela Industrial de Ñuñoa ingresó a la Escuela de Técnicos de la ex Escuela de Artes y Oficios. De allí pasó al siguiente peldaño para graduarse de Ingeniero industrial electricista. Durante tres años hizo docencia en el recién creado Instituto de Física de la UTE, hasta que tuvo la oportunidad de partir con una beca a la Universidad de Londres, donde obtuvo

un "Bachelor in Science in Physics honor degree" (1961).

La Universidad Técnica lo aguardaba para trabajar en docencia e investigación física. No pasaron dos años y ya el inquieto ingeniero volaba a Suecia becado por dicho gobierno y Unesco, con el fin de tomar parte en un Seminario Internacional de Investigación y Educación en Física, realizado durante el año 1964 en la Universidad de Uppsala. Fue el año de sus primeras publicaciones en revistas

internacionales, junto a sus maestros B. Rönnlund y O. Beckman. El tema que le apasionaba en esa hora era termoelectricidad.

"Volví a Física en la UTE y empecé a trabajar en la puesta en marcha de la mención electrónica de la especialidad de ingeniería civil eléctrica. Durante tres años compartí mi horario de docencia e investigación entre Física e Ingeniería, hasta que en 1967 la Universidad me seleccionó entre las diez primeras personas que fueron enviadas a estudiar un postgrado en Canadá con cargo al crédito BID".

Otros dos años le esperaban en la Universidad de Toronto. Las anteriores estadas en Inglaterra y Suecia habían acostumbrado al joven ingeniero a las exigencias curriculares de los países desarrollados, de tal forma que su dedicación le valió el Master en Ciencia con mención en Física. Toronto le brindó la posibilidad de abrir nuevos rumbos en la investigación, cautivándole ahora la superconductividad. A su vuelta a Chile inició en la UTE el desarrollo experimental de respuestas tecnológicas a problemas industriales planteados, entre otras, por empresas del tipo Madeco, Sindenlen, Osram y otras.

El prestigio alcanzado en la labor en equipo realizada hasta 1970, le valió la aprobación de un proyecto en Conicyt por 15 mil dólares para trabajar en superconductividad, a lo que se sumó luego otro por cuatro mil dólares para estudios en termoeléctricidad.

En octubre de 1973 fue nombrado director del entonces Departamento de Investigaciones, que un año más tarde pasó a ser Dirección (DICYT). "Heredé un departamento sin personal. La revista "Contribuciones" salía tarde, mal y nunca. En tres años habían aparecido 9 números y a poco de asumir le imprimimos periodicidad a la

publicación, producto más que nada de un incremento en la productividad científica en el plantel".

El Rector de la UTE lo mantuvo durante un año como director de la División de Relaciones, tarea paralela a DICYT, a la docencia, a la investigación "y a mi vida de familia, que defiendo siempre por sobre todas las cosas".

Hoy es el miembro más antiguo ("yo diría el de mayor continuidad") entre los vicerrectores y directores de investigación en las universidades nacionales. Como si tal fuera poco, Levy ha asumido la presidencia de la Comisión de Evaluación Académica y un cargo similar en la comisión redactora de la misma evaluación (1979).

Profesor de Física Electrónica en Ingeniería Civil Eléctrica y de Física en la Academia Politécnica Aeronáutica, en los momentos en que hicimos esta entrevista se le había designado como miembro de la subcomisión número 5 sobre investigación científica en las universidades, dentro del grupo de estudio que busca darle, por mandato presidencial, una nueva ley a las universidades chilenas.

Entre llamadas telefónicas, solicitudes de investigadores, firmas de documentos, preparación de material docente y revisión de trabajos, conversamos largo con el profesor Levy. Este fue nuestro diálogo.

## LA INVESTIGACIÓN Y SUS METAS

*¿Cuáles son las metas a corto, mediano plazo de la investigación científica en la UTE? ¿Existe un plan conjunto para el crecimiento académico, científico, administrativo, de servicios, etc., del plantel?*

En la presente etapa de desarrollo de la investigación en la

UTE, la meta fundamental que nos hemos propuesto es producir y fortalecer una capacidad interna para la investigación, que sirva de respaldo y pueda responder a demandas externas, en cuanto a la producción y aplicación de conocimientos y la formación de investigadores. Esto se realiza simultáneamente en varios frentes.

En primer término, dado que los presupuestos y recursos humanos de las universidades son limitados, se ha estimulado a las unidades académicas para que estructuren programas de investigación de acuerdo a sus propios planes de desarrollo e infraestructura de recursos humanos y físicos, ya que dada su acción y naturaleza, la DICYT sólo puede complementar los esfuerzos realizados por las unidades académicas. Todo esto, desde luego, dentro de las líneas gruesas de acción entregadas por el Gobierno a través del Plan Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico de la Conicyt, el Plan Indicativo de Odeplan y las líneas dadas por la propia Universidad. Esto ha determinado que en las unidades con cierta trayectoria en investigación, existan líneas de trabajo y grupos bien consolidados que pueden considerarse con una capacidad interna para resolver adecuadamente los problemas.

*En este sentido, ¿qué vinculación existe entre investigación y el fortalecimiento de ciertos postgrados en la Universidad?*

Este es un punto que quería subrayar porque existe estrecha relación entre investigación e implementación de postgrados, ya que estas últimas actividades son las que generan los recursos humanos requeridos para impulsar la formación de nuevos investigadores. El fortalecimiento de varias líneas en los últimos años ha determinado la puesta en marcha de actividades conducentes al Master programas que

se han evidenciado como una necesidad inherente al avance de la investigación. De este modo, la vinculación entre estas actividades deberá hacerse aún mucho más estrecha a futuro, y estimo que ésta es la única forma de generar una capacidad interna creadora, que se renueve, capaz de producir avances significativos.

Esta estrategia de desarrollo, apoyada por una organización adecuada y medios financieros suficientes para las actividades de investigación, creemos que impulsará grupos sanos de trabajo que originen nuevos conocimientos; formará nuevos investigadores y resolverá problemas planteados por la sociedad, ofreciendo a su vez alternativas de progreso científico-tecnológico y cultural.

Los integrantes del Comité de Investigaciones, con que se hace asesorar la Dirección, se han constituido en verdaderos instrumentos de estrategia de desarrollo de la Universidad, en las unidades académicas en que operan.

*Se nos queda, en cambio, buena parte de la pregunta en el tintero...*

Es cierto, pero esa segunda parte de la pregunta sólo puedo responderla en el ámbito que me corresponde, es decir en el ámbito de la investigación. Y allí sí que la respuesta es afirmativa. Nuestro crecimiento administrativo como DICYT tiene dos pilares importantes en académicos que colaboran conmigo. Uno se dedica a las actividades de estudio y promoción y otro a programación y control presupuestario. Aparte de esto, la DICYT tiene servicios de apoyo (taller de vidrio, laboratorios de R-X, de metrología, de electrónica instrumental y de mecánica de precisión). Estas facilidades centrales constituyen un servicio fundamental a las actividades de investigación.

### EL "SABER QUE" Y EL "SABER COMO"

*A menudo se habla de investigación científica y tecnológica, colocando a esta última como complemento de la primera. ¿Tienen la misma fuerza una que otra en Chile?*

Considero que en este aspecto existe confusión. Se estima que la ciencia es el punto de partida del desarrollo tecnológico. Esto es generalmente así, a pesar de que en muchos casos se han realizado progresos tecnológicos a partir de fenómenos para los cuales todavía no existía explicación científica. El avance de la ciencia y la tecnología no son competitivos, sino más bien complementarios y se desenvuelven en trayectorias paralelas que se retroalimentan. Es así como un nuevo proceso descubierto por científicos es luego transformado en una innovación tecnológica por ingenieros al desarrollar un producto, proceso, instrumento o técnica que se traduce en un bien que mejora las condiciones de vida, o es utilizado por los científicos para descubrir y estudiar nuevos fenómenos que generan otros conocimientos. El caso más típico es el descubrimiento de la difracción electrónica por la materia, que condujo al desarrollo del microscopio electrónico, el que a su vez ha llevado a que los científicos puedan explorar el mundo microscópico y a crear nuevos conocimientos en las ciencias básicas.

En resumen, la investigación científica trasciende en nuevos conocimientos y la actividad tecnológica produce innovaciones que se traducen en la obtención de nuevos materiales, productos, dispositivos, procesos, técnicas y métodos que mejoran las condiciones de vida y apoyan el desarrollo científico. El "saber

qué" está estrechamente relacionado con el "saber cómo".

Ahora bien, la actividad de investigación tecnológica y desarrollo tienen como punto de partida los conocimientos creados por la investigación científica, pero han desarrollado sus propios métodos y tienen vida propia, apoyándose fuertemente en conocimientos empíricos. En Chile, por tradición, siempre se le ha dado mayor preeminencia a la investigación científica, y por la falta de demanda de conocimientos para ser utilizados en el país, la vinculación entre ambos tipos de actividades es variable, dependiendo del área del conocimiento que se considere. Yo creo que la característica de los países en desarrollo no está determinada por la inhabilidad individual para producir conocimientos, sino que más bien por su incapacidad organizativa para formar grupos de trabajo preparados para encontrar aplicación a los conocimientos creados y a los conocimientos empíricos disponibles, haciendo uso intensivo de los recursos naturales y energéticos autóctonos. En otro orden de cosas, es evidente que carecemos de una capacidad, por parte de la demanda de conocimientos, para identificar las necesidades y explicitarlas, promoviendo una mayor vinculación con la oferta nacional de tecnología.

*¿No le parece que se habla frecuentemente con cierto desprecio de la tecnología y de su investigación?*

Es cierto, y obedece a que estas ideas no han sido suficientemente divulgadas en nuestro medio. Y esto es particularmente grave en una época en que los países desarrollados ponen mucha preocupación y capacidad organizativa al servicio de la utilización de conocimientos y la transferencia de tecnología. Es un hecho comprobado que los profesionales que se dedican a la



**"Existe menosprecio por lo tecnológico, como en siglos anteriores ocurrió respecto de la ciencia. Pero el mundo avanza por los cauces de la tecnología, que será la actividad predominante del próximo siglo".**

investigación tecnológica y al desarrollo, trabajan con menor publicidad que aquellos que se dedican a la investigación científica, dada la acción concreta que ejecutan al mejorar directamente la calidad y seguridad de la vida misma. Su acción es evidente y la publicidad parece no necesaria. Ello ocurre a pesar de que estos profesionales también enfrentan problemas de extraordinario interés intelectual, tales como el desarrollo en las áreas de computación, transporte, comunicación, instrumentación médica, generación de nuevos materiales a partir de materias primas propias, etc., que requie-

ren singular creatividad, transformándose en agentes del progreso en el mundo práctico. Es particularmente importante que los países en desarrollo generen una capacidad nacional para afrontar estos problemas, ya que en la actualidad no existe o es muy débil. Esta tarea se dificulta si no se dignifica la acción de los recursos humanos que se dedican a las actividades de investigación tecnológica y al desarrollo experimental.

#### LO TECNICO EN LAS UNIVERSIDADES

*Algunos académicos no están de*

*acuerdo con que a la Universidad Técnica se le siga llamando con el adjetivo de técnica. Señalan que el apelativo desdice el sentido universalista de la universidad contemporánea y que la limita a áreas —si bien importantes— pero restringidas. ¿Qué piensa usted frente a este asunto, siendo un "producto directo" de la UTE?*

Como se sabe, las universidades técnicas, nacidas a fines del siglo pasado, se crearon fundamentalmente para dar satisfacción a las necesidades de recursos humanos y de conocimientos de la era industrial. En sus comienzos, estas universidades a veces revestían de ropaje científico a la técnica ya bien desarrollada, pero en la mayoría de los casos orientaban y fortalecían el desarrollo tecnológico. Más tarde, al iniciarse la revolución científica, con el empleo de la electrónica, la energía nuclear, computación y automatización al desarrollo industrial, las ciencias básicas se convirtieron en el punto de partida del progreso tecnológico.

Del mismo modo, en el presente, la Universidad Técnica empieza a discernir acerca del rol que le cabe desarrollar al considerar las variables de tipo ecológico en la creación, adaptación y traspaso al medio de los conocimientos científicos y tecnológicos, de modo de mejorar las condiciones de vida, para todo lo cual debe contar con el respaldo de las ciencias humanas. Desde el punto de vista moderno, además, la evolución técnica se presenta de un modo muy distinto a como sucedió cien años atrás. En efecto, el desarrollo técnico actual debe considerar parámetros tales como la demanda de energía mundial, el uso y transformación de materias primas, la protección del medio ambiente, el suministro de conocimiento tecnológico y de recursos humanos al sector productivo y el implemento de las

exigencias del sector social. El desarrollo, de este modo, se administra con una visión más allá del estrecho límite de las especialidades profesionales y la Universidad Técnica, necesariamente, debe hacerse más "universal". En la actualidad, por tanto, los nombres más apropiados para la Universidad Técnica podrían ser, Universidad de Ciencia y Tecnología, o Universidad de Ciencia e Ingeniería, aunque de ningún modo el nombre hace a la institución, sino que, más bien la acción que una institución desarrolla prestigia al nombre.

#### UNIVERSIDAD Y EMPRESA

*Se fustiga muchas veces a la universidad latinoamericana de estar ajena y muchas veces sorda a las necesidades de la empresa, cualesquiera sea ésta. ¿Cómo ha respondido la UTE a esta vinculación y qué piensa hacer de aquí en adelante?*

No creo que la universidad latinoamericana se encuentre ajena o sorda frente a las necesidades de la empresa, sino que a pesar del anhelo que ella tiene para crear una mayor vinculación con el sector productivo, se encuentra imposibilitada de concretarla por motivos estructurales de orden económico, jurídico y cultural. Estos factores han producido una extrema desarticulación en estos países, entre los sectores productivos y la creación de ciencia y tecnología. Es decir desvinculación entre oferta y demanda de tecnología local.

En efecto, las políticas industriales, en el pasado, fueron demasiado teorizantes, recurriendo a la sustitución de importaciones mediante instrumentos arancelarios, desgravámenes impositivos, precios promocionales a la importación de bienes de capital e intermedios, y otras medidas legislativas.

Todo ello hizo que quedaran relegados a un segundo plano consideraciones relacionadas con el estímulo al fortalecimiento y utilización de la tecnología local. No hubo preocupación por incentivar la incorporación de valor agregado a las materias primas en la forma de inteligencia. Tampoco se ha desarrollado en nuestros países una capacidad para identificar alternativas de desarrollo tecnológico, seleccionar las más apropiadas y obtener una mayor habilidad negociadora de tecnologías. Por otra parte, resulta necesario impulsar políticas económicas y sociales que favorezcan y estimulen la demanda de conocimientos generados localmente, de manera tal que el esfuerzo individual se sume al desarrollo institucional de las universidades y al trabajo en equipo, procurando que la oferta y la demanda se correspondan para lograr una madurez científico-tecnológica en estrecha vinculación con el sector productivo en los países latinoamericanos. En Chile se espera que las empresas, dadas las presiones competitivas existentes y el incentivo a las exportaciones, tiendan a mejorar la eficiencia de sus procesos y aumentar su productividad al incorporar nuevas tecnologías.

*¿Cuál ha sido la respuesta concreta de la Universidad Técnica frente a este reto de la hora presente?*

En primer término, analizar y estudiar el problema de la vinculación a las empresas productivas, a través de comisiones de expertos en el tema. Hay consenso en que las actividades de asistencia técnica y prestación de servicios ayudan a las autoridades y a los académicos a conocer la realidad nacional. Y eso es tremadamente importante porque repercute en una mejor orientación de los programas docentes y de investigación al

hacerlos acorde con las necesidades sociales, económicas y culturales del país. Esto determina una contribución más definida de la Universidad al desarrollo nacional integral. Por otra parte, se piensa que es preciso definir políticas e instrumentos que permitan que estas actividades se desarrollen sin perturbar tanto la política global de la Universidad como la consecución de sus propios objetivos. Se considera, además, que el apoyo que ha recibido en estos últimos años la actividad de investigación y el equipamiento académico, junto con la experiencia adquirida por las unidades académicas al desarrollar actividades de asistencia técnica y prestación de servicios, han creado una sólida base para afrontar las demandas del sector productivo en forma eficaz.

#### LA ADMINISTRACIÓN CIENTÍFICA

*En una reunión reciente de vice-rectores y directores de investigación de universidades chilenas, se conoció la situación de statu quo que vive Conicyt y la falta de presupuesto para el fomento de la investigación. Alguien habló incluso que lo que falta al país es crear un ministerio para la ciencia. ¿Cuál es su diagnóstico del problema?*

En primer término, todo país que tenga un genuino interés por promover el adelanto social, económico y cultural a través del desarrollo científico-tecnológico, factor primordial junto a los factores clásicos como son el capital y el trabajo, debe poseer instituciones a nivel de Gobierno que asesoren al Presidente de la República en la Planificación del desarrollo científico-tecnológico a mediano y largo plazo, teniendo en cuenta los planes globales de desarrollo nacional. En seguida, que elaboren planes operativos anuales, junto con los

requerimientos presupuestarios correspondientes; que organicen y aprueben la programación de recursos para cumplir los planes fijados; efectúen un análisis anual de los resultados obtenidos con la aplicación de los planes elaborados y fomenten y coordinen las actividades científico-tecnológicas, complementando el esfuerzo realizado por las entidades ejecutoras.

*¿Y qué pasa con el centralismo imperante?*

Bueno, el sistema de organización de esta actividad debe ser de tipo indirectamente centralizado, en el que el nivel político y de planificación fijen los criterios y parámetros a que deba atenerse las decisiones que tomen las unidades de ejecución. Estimo que este esquema de organización es el que puede conducir a una mayor eficacia en el proceso de formulación de metas precisas para las actividades científicas y tecnológicas, ya que si bien preserva la autoridad de toma de decisiones de un sistema totalmente centralizado, la información requerida para la asignación de recursos es moderado y manejable. Por el contrario, un centralismo exagerado en materia de actividades científicas y tecnológicas, en la presente etapa de nuestro desarrollo, puede conducir a una burocracia que asfixie en lugar de impulsar estas tareas en su conjunto.

*¿Cómo se administrarían, por ejemplo, los fondos para estimular la investigación?*

En materia de financiamiento de proyectos de investigación en las universidades, son muchas las variables de tipo educativo, económico, estructural e histórico que deben considerarse, y los fondos que se asignen a estas funciones deben canalizarse de modo tal que no distorsionen la planificación universitaria global, ni aislen las labores de investigación de las necesidades de desarrollo nacional. Lo mismo es válido para los institutos de investigación estatales o privados. Es útil y necesario entonces que el diseño de políticas de desarrollo científico tecnológico nacional se centralice, no así su aplicación a través del control de los fondos. Un organismo de este tipo centralizado debería disponer de fondos complementarios de investigación y perfeccionamiento que servirían como un instrumento de política de desarrollo para promover el fomento y coordinación de aquellas áreas que hayan sido declaradas prioritarias por los organismos gubernamentales.

*Los centralismos han demostrado ser, a la larga, asfixiantes.*

Una centralización, en esta materia, es cierto que puede resultar nociva para la regionalización que está siendo impulsada por el Supremo Gobierno, y asfixiante también para los productores de

conocimientos científicos y tecnológicos, considerados individualmente o como miembros de las instituciones dedicadas a estas actividades, ya que perderían agilidad para adoptar compromisos en torno a su quehacer y para vincularse directamente a las demandas de desarrollo nacional. Manteniendo este espíritu y dada las repercusiones de tipo social, económico y cultural que la actividad científico-tecnológica tiene, creo que para realizar sus tareas con mayor eficiencia debe considerarse —como usted lo señala— la posibilidad de otorgar el rango de Ministro de Ciencia y Tecnología al Presidente de la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica, como lo han hecho en los últimos tiempos los países que desean impulsar el progreso a través de la ciencia y la tecnología.

**GRAVITACION NACIONAL  
DE LA UTE**

*Hay dos hechos históricos que relegan a tercer plano a la UTE frente a sus otras dos colegas de la capital. Mi apreciación, por el hecho de ser subjetiva, puede que sea errónea. El primero es su génesis, a través de la Escuela de Artes y Oficios, que pareciera emparentarla con "mameluco y grasa" frente a las profesiones tradicionales "blancas y limpias" del resto de las universidades. El*



**INDUSTRIA METALURGICA**  
**Piezas y partes automotrices**

ESPECIALIDAD EN BUTACAS PARA TODO TIPO DE AUTOMOVILES

MATRICERIA Y MECANICA. RESORTES DE FORMA METAL MADERA

LINEA COMPLETA MUEBLES DE OFICINA LITERAS MODULARES.

LITERAS STANDAR

18 de Septiembre 0135 Fonos: 583210  
Paradero 28 1/2 Gran Avenida La Cisterna 581273. - Santiago.

*segundo hecho es la universidad militante y al servicio de un partido político, que caducó en 1973. Ambos hechos pareciera que pesan sobre la comunidad nacional para aceptar a una UTE madura en la formación profesional que entrega y en la investigación que realiza. ¿Está de acuerdo con el diagnóstico?*

Antes que nada, me parece valiosa y valiente la pregunta. Creo que lo que ocurre con la Universidad Técnica, en Chile, sucede en todos los países del mundo en que existen universidades técnicas. Ello se debe, en primer término, a que estas universidades desarrollan una acción muy concreta y estrechamente vinculada a las necesidades de progreso industrial del país, formando sus recursos humanos en la mayoría de sus niveles profesionales, resolviendo problemas tecnológicos y planteando alternativas de desarrollo, y en la mayoría de los casos las acciones que concretan, erróneamente, no las publicitan adecuadamente.

Entre más abstracta es una actividad o más indirecto es su impacto en el desarrollo, más promoción requiere, lo que usualmente produce opinión pública favorable en torno a su acción.

Por otra parte, esto también es producto de la forma despectiva con que se observa la actividad tecnológica en general, y sobre lo cual ya hemos hablado ampliamente. Sin embargo, debe recordarse que lo que en el siglo XX ocurre con la tecnología, en el siglo XIX sucedió con las ciencias naturales. En efecto, las ciencias naturales durante muchos años, y en la época en que empezaron a incorporarse a las actividades universitarias, su ascenso fue observado con alarma por parte de las personas que se dedicaban al estudio de la filosofía o algunas profesiones liberales,

quienes la consideraban como una labor de segunda categoría. Todos conocemos el privilegio y ventaja que hoy han alcanzado en el mundo estas actividades científicas. Por eso estimo que una vez que la tecnología promueva adecuadamente su acción y gane prestigio, tendrá tanto o más influencia que las ciencias naturales u otra disciplina desarrollada hoy por las universidades. Posiblemente el siglo XXI corresponda a la época en que las actividades tecnológicas sean reconocidas como tareas de alto prestigio, desde luego que involucrando, posiblemente, una definición mucho más amplia que la que hoy se tiene al respecto.

Y una reflexión última sobre su pregunta. En nuestro país, según lo indicó recientemente un ex-presidente de la SOFOFA, fueron precisamente profesionales de "marmeluco y grasa", egresados de esta Universidad, los que establecieron un sinnúmero de pequeñas empresas que al crecer y desarrollarse dieron uno de los primeros y más fructíferos impulsos al progreso industrial del país.

*¿Y qué sucedió con la universidad militante, otro foco de malquismamiento de la UTE en la confianza nacional?*

Considero que el prestigio o desprestigio de las instituciones tiene cierta inercia en el tiempo. En efecto, el prestigio se mantiene aún después que las causas que lo provocaron han desaparecido. Del mismo modo, el desprestigio de una organización puede perdurar aún cuando los motivos que lo produjeron ya no existan y puedan haber muchas razones para que la institución sea altamente considerada. La imagen de las instituciones, fundamentalmente, las entregan los órganos de comunicación; es tarea de los mismos, en un momento determinado cambiar una impresión en la opinión pública

que ya no corresponde a la realidad.

La politización de la Universidad Técnica, en la época que usted indica no creo que fuera mayor que la que existía en otras universidades e instituciones del país, excepto, posiblemente, entre sus autoridades superiores que la controlaban. Luego del cambio de autoridades producido en la UTE en 1973, y dada la labor que se ha realizado desde entonces, se ha demostrado lo que ella es capaz de hacer por el país. El cambio de la opinión pública respecto a esta realidad es sólo cuestión de tiempo y de una acción futura adecuada de los órganos de difusión; desde luego que es primordial que los comunicadores conozcan y estén convencidos de lo que están promoviendo.

## COORDINACION DE TAREAS

*Profesor Levy, volvamos a lo suyo. ¿Cuánto de lo que se hace en investigación en la UTE termina en una patente que beneficie al plantel y a sus creadores? ¿Qué es lo que ocurre, por ejemplo, en otros planteles del país? ¿Cómo se facilita a las universidades el trámite para patentar inventos?*

El problema de las patentes que benefician al plantel y sus cuadros académicos es un problema latente y de mucha actualidad en el ámbito universitario. Hasta la fecha no se ha encontrado una solución integral. En la medida en que las universidades diseñen e instrumenten sus políticas de Asistencia Técnica y Prestación de Servicios, y se adquiera más experiencia en la administración de esta actividad y su interacción con el sector productivo, este problema,—que es sólo un mecanismo— será resuelto en su totalidad. En todo caso, a pesar de lo indicado anteriormente, algunos

trabajos han sido patentados en esta y otras universidades, que cumplen los aspectos que usted plantea. No creo que sea la oportunidad esta de detallarlos.

*Hemos hablado de temas bastante distantes aunque conexos. Quiero que se refiera a tópicos de interés para usted y que aquí no fueron abordados.*

De lo expresado, sobre las tareas de la universidad, se puede visualizar que las funciones académicas de docencia, investigación,

extensión y servicio público, se encuentran estrechamente vinculadas. Sin embargo, debe reconocerse que esta vinculación puede traducirse en distorsión si no se regula en una forma adecuada, la interacción entre estas funciones. En efecto, por lo que hemos visto se observa una interrelación entre las funciones de investigación, desarrollo, formación de recursos humanos a través del postgrado para impulsar estas actividades, así como también la búsqueda de

cooperación y asistencia técnica internacional necesaria para apoyar su avance.

Estas actividades planificadas, programadas y controladas adecuadamente, deben constituir más bien un apoyo regulado que una interferencia descontrolada en las actividades de pregrado. Esto es muy importante de tener presente, ya que los métodos utilizados para preparar profesionales difieren notablemente de aquel empleado para formar investigadores.



Hugo Levy, según el lápiz  
del Dr. José Zagal.



DISTRIBUIDORA  
DE METALES

ACEROS INOXIDABLES EN BARRAS  
PLANCHAS Y TUBOS  
CALIDADES 304, 316, 430

METALERA NEUHAUS S.A.C.  
HUERFANOS 1978 - CASILLA 9041 - METALCO  
FONOS 84829 - 83432 - SANTIAGO

INGELCO LTDA.

INGENIERIA  
CONSTRUCCION  
IMPORTACIONES

ELIODORO YAÑEZ 1687 - FONO: 749024  
SANTIAGO



Víctor Osorio L.  
Ing. Civil Metalúrgico  
Profesor Jornada Completa  
Depto. de Metalurgia

# aspectos metalúrgicos generales de la soldadura de aceros al carbono y de baja aleación

**L**a soldadura es un problema que se debe atacar desde dos ángulos distintos, el enfoque mecánico y el metalúrgico. Hay que tener en claro que en la soldadura de aceros al carbono y de aceros de baja aleación para que ella sea satisfactoria deben tomarse ciertas precauciones, poniendo especial atención al espesor de la sección, el material de aporte utilizado y las transformaciones que sufre el acero en la zona afectada por el calor (ZAC).

El aspecto mecánico está orientado a hacer un estudio detallado del tipo de carga que actúa sobre la estructura, para lo cual se puede considerar sólo cargas principales o la suma de cargas principales y adicionales, o bien si tenemos soldadura en piezas de máquinas las cargas pueden ser estáticas o dinámicas, complementando esto con el estudio de la naturaleza del sistema de esfuerzos que actúan sobre la pieza que puede ser torsión, flexión, corte o combinaciones de éstos. Además incluye el cálculo de la secuencia de aplicación de los cordones, si éste es continuo o discontinuo, y el grado de empotramiento o rigidez del sistema.

Todos estos aspectos tienen que ir complemen-

tados con un estudio detallado de la parte metalúrgica, porque es sabido que las fallas en la soldadura de aceros ocurren por la aparición de microestructuras duras en la ZAC, lo que depende de:

- i) La templabilidad del acero y
- ii) Velocidad de enfriamiento

Previo a dar mayores antecedentes sobre la templabilidad del acero y velocidad de enfriamiento, hablaremos sobre las estructuras que se obtienen en las soldaduras por fusión, y al respecto podemos decir que la estructura resultante en este proceso es similar a la estructura que se obtiene en piezas coladas, pero se diferencia de esto porque en los bordes del cordón que están en contacto con el metal base aparecen granos epitaxiales que son aquellos granos mejor orientados del metal base que se han fundido previamente y crecen a expensas del metal de aporte hacia el centro del cordón dando origen a granos columnares.

Las tendencias de nucleación y crecimiento están influenciadas por la acción enfriadora del metal base que produce un tamaño de grano variable dentro de la soldadura. La estructura de la

soldadura además está influenciada por los principios de tratamientos térmicos asociados con las transformaciones alótropicas que se producen tanto en el metal base como en el metal de aporte. En la figura 1 se compara una sección pulida y atacada de un acero de bajo carbono unido por soldadura de fusión con una sección del diagrama Hierro-Carbono; se pueden observar secciones estructurales representativas de zonas sin afectar, de transición, refinadas, gruesas, de fusión y de metal depositado. Un estudio del diagrama de equilibrio explicará la presencia de cada una de estas zonas. En general, las diversas zonas de una soldadura por fusión no están claramente definidas, sino que están unidas unas a otras sin una línea clara de demarcación. Ellas tienden a ser más estrechas cuando la aplicación del calor está altamente concentrada.

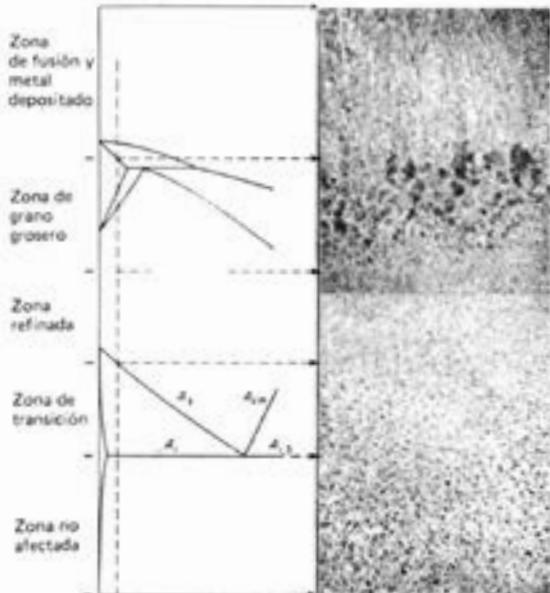


Fig. 1. Zonas presentes en la soldadura por fusión (50x)

La zona sin afectar tiene la estructura típica del metal base (acero de bajo carbono) que no ha sido calentado a una temperatura lo suficientemente alta para alcanzar el rango crítico, por lo tanto, su estructura no ha cambiado.

En la zona de transición existe un rango de temperatura entre  $A_1$  y  $A_3$  donde se produce la recristalización parcial.

La zona refinada indica una región calentada justo por encima de  $A_3$  donde se completa el refinamiento de grano y existe una estructura granular continua. A temperaturas mayores por encima de  $A_3$  se produce un engrosamiento de grano. A temperaturas por encima del solidus se produce la

fusión del metal base que está ilustrada por la zona de fusión. Siempre que un metal de aporte es agregado a una soldadura por fusión existirá una región con una estructura típica de colada de granos gruesos columnares conocidos como zona de metal depositado, estas zonas son mostradas en las siguientes figuras.

La figura 2 muestra la estructura de una zona sin afectar que consiste en estructura característica de ferrita y perlita. La zona de transición se muestra en la figura 3 en la cual los granos de ferrita no han sido alterados, pero las regiones perlíticas se han hecho mucho más finas. Este cambio fue producido por calentamiento dentro del rango crítico lo que transforma la perlita en austenita, y con el posterior enfriamiento reforma la perlita.

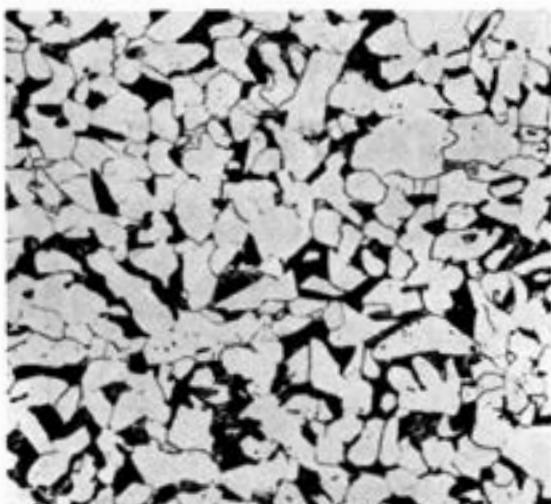


Fig. 2 Estructura de la zona no afectada en un acero soldado (250x)

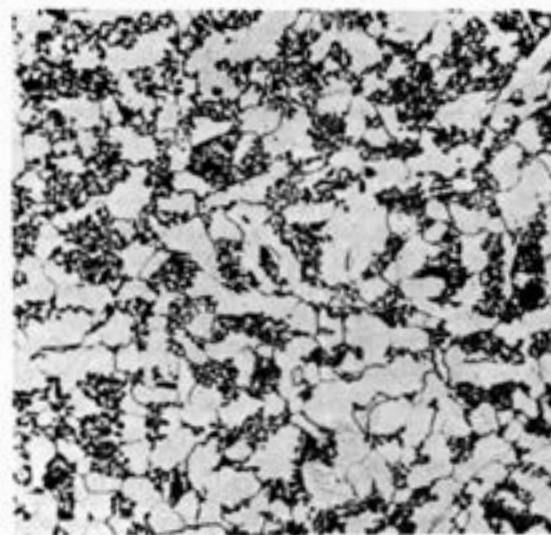


Fig. 3 Estructura de la zona de transición en un acero soldado (250x)

La recristalización completa es mostrada en la figura 4 en la cual las áreas de ferrita y perlita son mucho más finas al formarse a partir de la austenita que existía a una temperatura justamente por encima de la temperatura crítica superior. La estructura ilustrada en la figura 5 muestra grandes regiones de perlita y pequeños granos de ferrita. El examen de la perlita a mayores aumentos mostraría una estructura más fina que la que existía en las áreas de perlita original debido a la velocidad de enfriamiento que prevaleció.

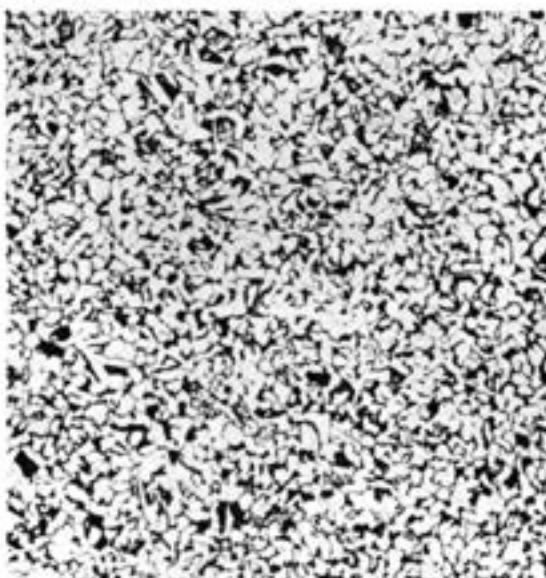


Fig. 4 Estructura de la zona refinada en un acero soldado (250x)



Fig. 5 Estructura de la zona de grano grueso en un acero soldado (250x)

La estructura muy gruesa cercana a la zona de fusión se muestra en la figura 6, la estructura es de tipo Widmanstätten con líneas de ferrita interrumpiendo las áreas de perlita. Esta estructura es común en los aceros bajos en carbono en los cuales la transformación ocurre a partir de granos de ferrita a velocidades de enfriamiento relativamente rápidas. El metal depositado que consiste en estructura columnar de ferrita y perlita es mostrado en la figura 7



Fig. 6 Estructura de la zona de grano grueso y de fusión en un acero soldado (250x)



Fig. 7 Estructura de la zona de metal depositado en un acero soldado (250x)

Estas estructuras son características en los aceros bajos en carbono y pueden ser modificados por la velocidad de enfriamiento desde las temperaturas alcanzadas en la región austenítica.

Analizaremos ahora los factores de los cuales depende la aparición de microestructuras duras en la ZAC:

i) La templabilidad del acero depende de:

- contenido de carbono
- tamaño de grano
- contenido de elementos aleantes

Aumentando estos factores aumenta la templabilidad del material, vale decir, se aleja la nariz de la curva TTT del origen, lo que implica que aparezcan microconstituyentes no deseables como es el caso de la martensita; nos interesa disminuir estos factores para tener mejor soldabilidad.

ii) Velocidad de enfriamiento que depende de la temperatura máxima alcanzada por el material en los distintos puntos, la cual a su vez depende de la razón de entrada de calor gobernada por la

$$\text{expresión: } E = 0,06 \frac{VI}{v} \left[ \frac{\text{joule}}{\text{pulg.}} \right]$$

donde:

V: voltaje (Volt)

I: intensidad (Amp)

V e I dependen del electrodo a usar.

v: velocidad de avance del electrodo  $\left[ \frac{\text{pulg.}}{\text{min.}} \right]$

La velocidad de enfriamiento se puede modificar de las siguientes maneras:

a) Precalentamiento que se le puede dar a la pieza

a soldar, lo que implica agregar una cantidad de calor extra para disipar.

b) Aislando el sistema de tal manera que la disminución de la temperatura sea en forma lenta, este aislamiento se hace con algún material refractario como asbesto por ejemplo.

c) Variando el espesor de la placa y manteniendo largo y ancho constante. Si se disminuye el espesor, la velocidad de enfriamiento disminuye al igual que en a y b.

d) Utilizando la técnica de cordones múltiples donde las uniones soldadas se forman con una serie de cordones pequeños, de modo que cada cordón le sirva de precalentamiento al posterior y de recocido al anterior.

Muchas veces es imposible solucionar el problema de aparición de microestructuras duras en la soldadura mediante la modificación de la velocidad de enfriamiento. Esto se puede solucionar dando un tratamiento térmico de recocido o revenido a la pieza soldada.

Los elementos que nos dan mejor información de la microestructura y la dureza de la zona afectada por el calor son los diagramas de enfriamiento continuo TTT<sub>EC</sub> como el de la Fig. 8. Es conveniente recordar que la velocidad de enfriamiento en la zona calentada más lejos del intervalo crítico en el curso de la soldadura pueden ser suficientemente rápidos para mantener la austenita en equilibrio inestable bajo 600°C y forme la martensita. Expresado en términos metalúrgicos significa que la velocidad de enfriamiento en la ZAC puede ser superior a la velocidad crítica de temple martensítico Z del acero, lo que sucede es que se forma ahora la martensita.

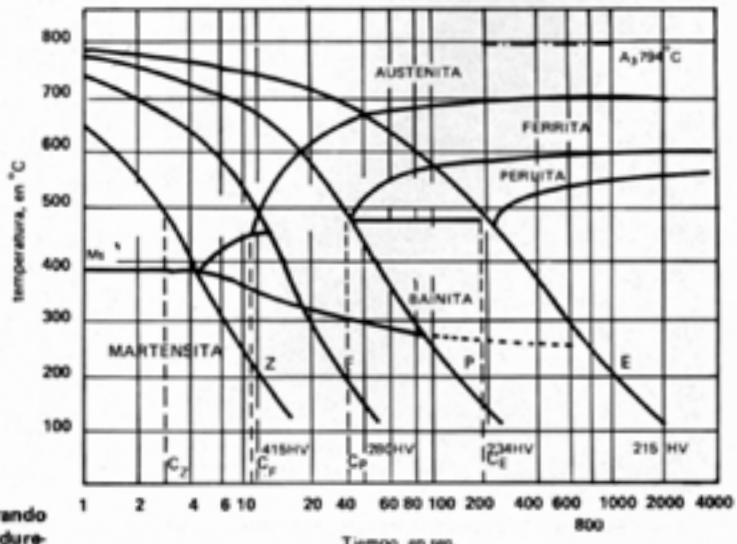


Fig. 8

Diagrama de enfriamiento continuo mostrando los puntos de transformación, las curvas y durezas de los enfriamientos críticos.

Si el aporte de calor en el curso de la soldadura es débil y el enfriamiento tiene lugar con una velocidad más rápida que la velocidad de enfriamiento Z la ZAC será totalmente martensítica y su dureza sobrepasará los 450 HV. Si el enfriamiento se produce a una velocidad intermedia entre la curva de enfriamiento Z y la curva de enfriamiento F, tendrá lugar una cierta transformación de la austenita en una estructura intermedia BAINITICA en los dominios  $Z_w$  y la zona final afectada por el calor será constituida de una mezcla de martensita y bainita. La dureza de esta zona será inferior a 415 HV. En el otro extremo, una disminución de la velocidad de enfriamiento o de la curva de enfriamiento E permite en general a la zona afectada por el calor se transforme enteramente en ferrita y perlita. Se ha constatado que, generalmente, las ZAC que se enfrian a una velocidad suficientemente lenta para producir por lo menos una parte de la transformación de la austenita en ferrita pro-eutectoide, no se fisura espontáneamente y presentan un grado razonable de ductilidad y tenacidad. Se ha concluido que la velocidad de enfriamiento que marca la aparición de la ferrita pro-eutectoide ( $C_f$ , velocidad definida por el tiempo se puede entender 5000°C, según la curva de enfriamiento f) constituye un índice de soldabilidad límite. Conforme a esto, un acero dado debería siempre ser soldado con la ayuda de un procedimiento (aporte de calor o eventualmente precalentamiento) que da una velocidad de enfriamiento de la zona afectada por el calor más débil que  $C_f$ . Otro método que permite predecir las estructuras metalúrgicas con menos exactitud son las curvas TTTI y las curvas de templabilidad Jominy.

Cuando se consideran las microestructuras no se deben perder de vista los siguientes puntos:

- Los diagramas de equilibrio isotérmicos no son valederos porque el acero es enfriado de manera extremadamente lenta. Si se aumenta la velocidad de enfriamiento, como es el caso de la soldadura, las curvas de transformación se desplazan hacia la temperatura inferior y la composición del eutectoide puede corresponder a toda una gama de contenido de carbono.
- Factores térmicos, hemos visto la gran importancia de éstos en la soldadura, por este motivo los analizaremos en detalle a continuación en un cordón con unión biselada.

#### Factores Térmicos

En la Fig. 9 se muestra un cordón de soldadura con unión biselada del cual nos interesa analizar el plano transversal a la soldadura en la cual se han marcado los puntos A, B, C y D, que es similar a cualquier otro plano transversal si mantenemos constante los parámetros de soldadura, de tal

manera que analizando estos cuatro puntos tendremos una situación térmica a lo largo del cordón.

Las marcas  $t_0$ ,  $t_1$  y  $t_2$  nos indican la posición del electrodo en el momento que éste pasa por nuestro plano y otras dos posiciones sucesivas, digamos 5 y 10 seg. después.

Para simplificar el análisis, aceptemos la siguiente hipótesis "EL CALOR SE TRANSMITE DESDE EL CORDÓN HACIA LA ZONA AFECTADA POR CONDUCCIÓN EN EL MATERIAL SIN SALIR HACIA LA ATMOSFERA CIRCUNDANTE", lo que equivale a decir que no hay variación de temperatura en la vertical de los puntos A, B, C y D marcados. En la práctica esto se cumple en las proximidades del cordón, para los rangos de tiempo que estamos considerando.

La Fig. 10 nos muestra la distribución de temperatura en nuestro plano de control para los tiempos  $t_0$ ,  $t_1$  y  $t_2$

El punto A llega al máximo de temperatura en el instante en que el electrodo pasa por encima, produciéndose la fusión del material ubicado directamente bajo él, dando lugar a una distribución de calor con fuerte gradiente de temperatura decreciente, lo cual nos da por consiguiente una curva de distribución de temperatura distinta para cada punto, cuando el electrodo pasa por  $t_2$  la distribución de temperatura es considerablemente más baja y ancha.

Como este es un caso de régimen transiente, la solución matemática del problema se basa en la resolución de la ecuación de Fourier.

$$\left( \frac{\partial T}{\partial t} \right)_x = K \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right)_t$$

Que tiene por solución particular

$$T(x, t) = \frac{Q}{2\sqrt{\pi Kt}} \exp \left( -\frac{x^2}{Kt} \right)$$

Donde:

K: conductividad térmica del material

x: distancia

t: tiempo

Q: razón de entrada de energía

las condiciones de borde son:

1. Para  $t = 0$ ,  $T = 0$ , excepto para  $X \rightarrow 0$
2. Para  $x = 0$ ,  $\frac{\partial T}{\partial X} = 0$  para todo valor de t

La Fig. 11 corresponde a la variación de la temperatura con respecto al tiempo para  $X = \text{constante}$ , curvas que pueden dibujarse fácilmente sacando datos de las curvas ya dibujadas o simplemente calculando valores mediante la ecuación  $T(x,t)$ . La temperatura en cualquier punto de nuestra superficie de control, digamos B, subirá

hasta un valor máximo y luego disminuirá con una cierta razón que tiende a atenuarse con el tiempo.

Finalmente, nos formulamos una pregunta que es necesario analizar en detalle:

¿Cuáles son las condiciones óptimas tanto en el aspecto metalúrgico, mecánico y económico para un caso en particular?

Fig. 9 Corte transversal de un cordón de soldadura

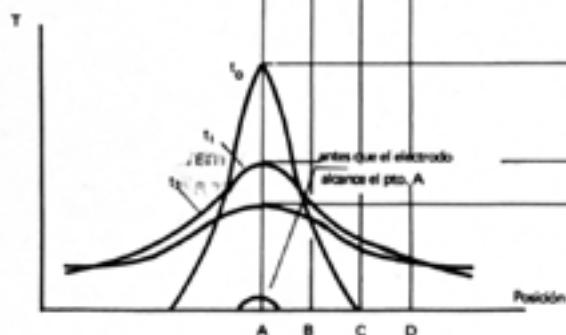
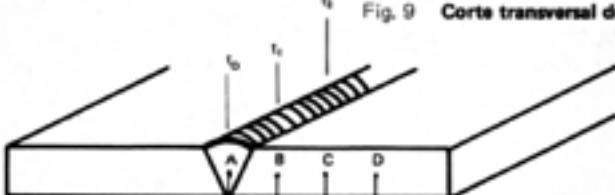


Fig. 10 Distribución de temperatura en un corte transversal del cordón de soldadura.

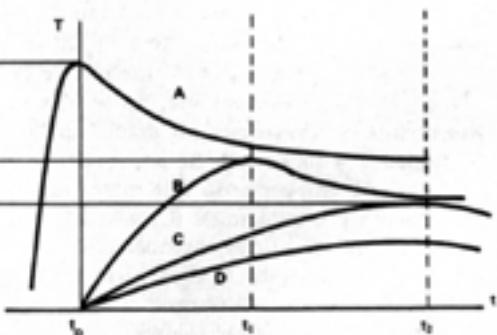


Fig. 11 Variación de la temperatura con respecto al tiempo, a una posición constante.

## BIBLIOGRAFIA

DONALD S. CLARK, Ph. D.; WILBUR R. VARNEY, M.S.; Metallurgy for Engineers (libro); Págs. 494-520 D. van Nostrand Company, Inc., Princeton, New Jersey, 1962.

E.J. RIDAL, Fonderie 371 Págs. 315-328, Octubre 1977.

RENE SEGURA M.S. Curso de Soldadura dictado en la Universidad de Concepción, año 1976.



### CONTRATISTAS

Túneles – Sondajes – Perforaciones – Obras Civiles e Ingeniería.

### VENTAS

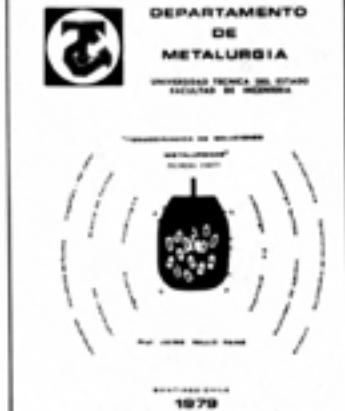
STENUICK (Equipos Down the Hole) FURUKAWA (Equipos de Perforación) JKS (Sondajes) TRI-M (Acero de Perforación) MYNO (Bombas).

### FABRICACION

Acoplamientos – Equipos Perforación – Carros Decauville.

# APUNTES

## EDITADOS POR EL DEPARTAMENTO DE METALURGIA



### TERMODINAMICA DE SOLUCIONES METAL. I PARTE

**CONTENIDO:** En esta primera parte, se presentan las relaciones termodinámicas básicas, la ecuación de Gibbs Duhem y su integración en sistemas binarios con una serie de ejemplos de aplicación:

NO de pág. 138  
Valor \$ 220.



DEPARTAMENTO  
DE  
METALURGIA  
UNIVERSIDAD TECNICA DEL CHILE  
FACULTAD DE INGENIERIA

INTRODUCCION  
A LA  
METALURGIA



### INTRODUCCION A LA METALURGIA

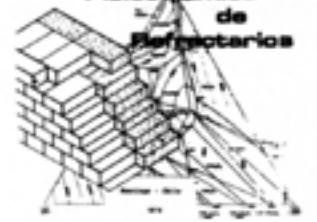
**CONTENIDO:** Se da una visión general de lo que es la Metalurgia, sus principios y procesos. Se pone especial énfasis en lo referente a Siderurgia y Metalurgia del Cobre.

NO de pág. 160  
Valor \$ 200



DEPARTAMENTO  
DE  
METALURGIA  
UNIVERSIDAD TECNICA DEL CHILE  
FACULTAD DE INGENIERIA

FISICOQUIMICA  
de  
REFRACTARIOS



### FISICOQUIMICA DE REFRACTARIOS

**CONTENIDO:** Se entregan conceptos de química y equilibrio Heterogéneo en sistemas refractarios, efectos cinéticos en los mismos, para terminar con un capítulo dedicado a las propiedades físicas de los refractarios.

NO de pág. 136  
Valor \$ 220



### ESTRUCTURA DE MATERIALES

**CONTENIDO:** En esta primera parte se dan conceptos de periodicidad en cristales, elementos de simetría, los diferentes sistemas cristalinos y estructura de los cristales.

Nº de pág. 61  
Valor \$90



### SOLIDIFICACION DE METALES

**CONTENIDO:** El texto presenta conocimientos de Termodinámica de Solidificación, interfase sólido-líquido, crecimiento cristalino de metales idealmente puros, el sistema metal/molde en detalle, fluidez de metales y termodinámica de la solidificación en aleaciones.

Nº de pág. 193  
Valor \$ 250



### PIROMETALURGIA DEL COBRE

**CONTENIDO:** Esta es una edición completamente nueva, diferente a la 1a. publicada en 1974. Contiene un capítulo introductorio, se explican los procesos de fusión, conversión fusión-conversión continua, refusión y los procesos no tradicionales. Cada capítulo lleva un listado de referencias y problemas de ejercitación.

Nº de pág. 124  
Valor \$ 220



### EQUILIBRIO HETEROGENEO

**CONTENIDO:** Se entrega un detallado material relacionado con el estudio de los diagramas de equilibrios ternarios y cuaternarios y sus aplicaciones a la Metalurgia. Se dan numerosos ejemplos y variados ejercicios. Se incluye finalmente un listado de bibliografía recomendada.

Nº de pág. 84  
Valor \$ 180



# VIUDO DE VERANO

Por Juan A. Valencia V



Cuando estaba soltero, viví casi ocho años solo, primero arrendé una pieza en un caserón en la calle Dieciocho, al año me mudé a un departamento de un ambiente. Fue un tiempo muy feliz, nadie me molestaba y me sobraban horas para escuchar música, escribir pintar y hacer modelados en greda. La práctica de estas inquietudes me abrieron insospechadas ventanas en mi mundo interior. Era un hombre a quien no le asustaba la soledad. ¡Claro que a veces no estaba tan solo!

Después me casé y he sido muy feliz, dos campeones contribuyen a que desee ardiente regresar luego de la pega. Es cierto que cuando llego me dan poca pelota, los tiene absorbidos la Tele. Pero en cuanto me pongo a escribir, allá están revoloteando alrededor. —Papi, ¿a quién le escribes? ¿Qué significa cosas de la vida real? — O si no: —Mira papi, Leonardo no quiere prestar la tiza. —¿Qué hace Leonardo con la tiza? —Monos en la pared, y a mí me quedan mejor. — ¡Y salgo disparado!

Si me pongo a pintar, es peor, los dos cristianos también quieren hacer lo mismo, primero sacan los pinceles de la caja de pinturas, después los tubos, al abrirlos se manchan en orden correlativo: los dedos, el pantalón, la camisa, la cara, las manillas de las puertas y vamos limpiando y echándolos afuera!

Esto viene al caso porque ahora no podré ir a la playa junto a la familia. El trabajo en la Empresa me lo impide. Me da harta pena; en buen romance, seré viudo de verano, así que haré un buen programa para aprovechar la soledad.

Para comenzar escribiré todo lo que pueda; tengo dos telas preparadas para pintar, aguarrás, médium y pinceles nuevecitos; block borrador y papel oficio original, etc., también he mojado

la greda. Si me sobra tiempo, veré si modelo un retrato al pergenio chico.

Yo creía que la despedida sería triste, pero no fue así. La señora, pese a que me dejó una larga lista de obligaciones, me las repitió todas en los últimos momentos. Los cabros se metieron al bus y estaban eufóricos con la partida. ¡Última recomendación de mi amada esposa! —¡Pórtate bien, tú ya no estás para trotes! —¿Qué habrá querido insinuar?



Regreso a casa con una rara sensación de soledad, nadie me dirige la mirada, como si no existiera. Me reanimo pensando en el programa que he elaborado; como es sábado, prepararé un tema que hace tiempo me da vuelta la cabeza. Para hacer el camino más corto, saco el papel de las recomendaciones. Leo:

1. Lavar las jaulas de los canarios y ponerles comida todos los días, agregar lechugas y huevos duros día por medio.
2. Sacar la basura los lunes, miércoles y viernes.
3. Poner hormiguicida en las ventanas y puertas, dos veces por semana.
4. Traer de la Tintorería los pantalones café y el vestido floreado.
5. Devolver a Mirta una taza de azúcar que nos prestó (también la taza).
6. Deshelar el refrigerador los lunes.
7. Sacar y llevar cortinas a la Tintorería, las del living.
8. Hablar con el maestro Herrera para ver si puede arreglar los azulejos del baño de visitas.
9. Regar el pasto todos los días, en la noche hay más presión, especialmente las rosas que necesitan bastante agua.
10. Cambiar el tubo de gas licuado, hay uno vacío y al otro le queda poquito.
11. Pagarle el diario a la señora de la esquina.
12. Pagar el agua y la luz. Los avisos están en un sobre en la parte de arriba del closet.

Al finalizar la lectura, la sensación de soledad desapareció, mi dulce esposa, con su característico y personal sentido del orden ha preparado una lista de sus propias obligaciones, pero olvidó que tengo trabajo en otra parte. Me propongo hacer caso solamente a los puntos: uno, sin huevos duros y lavaré las jaulas día por medio. El punto dos lo haré el miércoles. El punto ocho, se cumplirá si veo al maestro Herrera. El punto nueve, será día por medio, dime carga regar el pasto! El gas licuado no sé si lo podré reposar, llego a la casa a las siete (P.M.) y a esa hora nunca he visto camiones de reparto. Pagaré los diarios, eso es fácil. Las cuentas de agua y luz dependerá que encuentre los papeles. ¿Qué closet será?

Como la familia se fue en el bus de las cuatro de la tarde, me encuentro en casa con ganas de tomar onces. La primera impresión que produce es el silencio, parece mentira que la prole haga tanto ruido, esto parece un sepulcro. Para avivarme pongo la radio bien fuerte. Quedo indeciso, ¿qué tomaré de onces, té, café o cocoa? No sé por qué me hago esta pregunta, siempre tomo té sin leche y pan. ¡Aquí me fregué! Recordé que la señora se llevó todo el pan por si no encontraba cuando llegara a la playa. Se me ocurre llevarle la taza de azúcar a la vecina y pedirle un pan, no, mejor dos, otro para la comida. ¡A propósito! ¿Qué haré de comida? Efectúo una revisión completa y el resultado es pobrísimo. Mi amada esposa con un alto espíritu previsional, se ha llevado todo a la costa. Sólo encuentro unas papas, arroz, algo de azúcar, sopas en sobres, tres huevos y un pegado de margarina. Bastante jabón en polvo y unas botellas de plástico, creo que también es detergente.

Me siento y medito. Arroz con huevo frito podría ser. Verifico si dispongo de aceite, afortunadamente el aceite se escapó o fue olvidado.

Voy al lado a entregar la taza de azúcar, pero no hay nadie. Regreso pensando ir a un almacén a aprovisionarme. ¡Buena



ideal. Busco un bolso y parto donde Don Guillermo. Compro pan de molde, margarina, queso, medio kilo de vienesas, salsa de tomates, té en bolsas, una docena de huevos, ¡para mí, no para canarios! Un poco de tallarines y dos rollos de papel confort, (para servilletas).

Después paso a una frutería; duraznos, plátanos y una sandía repletan la bolsa. Regreso feliz, tengo comida para un mes por lo menos. Lleno de optimismo, preparo arroz con vienesas y salsa de tomates. ¡Menos mal que quedan varias botellas de vino!, de postre dos duraznos, es un banquete. Como en la cocina, lo malo es, hice demasiado arroz, para cinco. No sé si se puede guardar ¿Qué haré? ¿Habrá llegado los vecinos? Sí, hay luz, dejo todo a un lado y parto con la taza de azúcar.

- ¡Hola, qué dice el viudo de verano! —me saluda Hugo.
- ¿Para qué se fue a molestar? —dice Mirta.
- ¡Viejo, tomamos un pisco, asiento! —Muchas gracias. Me largo a conversar con Hugo, muy buen chato, me sirve el pisco en fila. Su amable esposa mientras tanto ha desaparecido. Comentamos un montón de cosas y el pisco está fenómeno. En eso aparece Mirta anunciando que la mesa está servida. Pasemos. Trato de negarme, no quiero molestar. — ¡Viejo, tú crees que te vamos a dejar solo en tu primera noche, ni pensarlo! Pasemos al comedor.

No puedo negarme, sería una descortesía. ¡Y pensar que tengo cuatro vienesas, un montón de arroz, un par de duraznos, pan y vino en el estómago! No he preguntado todavía si el arroz se puede guardar, ino se me vaya a olvidar!

Se me olvidó. Regreso a casa medio cureña, a eso de la una y media, lleno de comida hasta el cogote y sin ánimo de hacer nada. Miro la cocina y casi me da

hipo. Bueno, mañana me levanto temprano y dejo todo lavado antes de irme a la pega.

Paso una noche perra. Con el estómago super cargado tengo pesadillas "pa'l mundo", aparecen preparados de arroz en todas formas que la gente lo come señalándome con el dedo índice. Despierto como treinta y cinco veces. Al amanecer, ya puedo dormir más tranquilo.

El despertador hace el ridículo, me levanto a toda carrera y sin tomar desayuno salgo a la pega. En el antejardín, pego la frenada. ¡Pero si es domingo! Echo un garabato y vuelvo, me saco la ropa y me tiro de cabeza a la cama. ¡Lo que hace el pisco!



Dormí hasta las once y media de la mañana. Después lavé todo, el arroz que había quedado fuera del refrigerador lo boté. Me senté a leer el diario y comencé a sentir hambre, pero había dejado la cocina impecable que me daba pena ensuciarla.

Preparé unos sandwichs de queso más un vaso de vino, puse la radio y me arrellané en un sillón. ¡Qué tranquilidad! Dormiré una siestecita, tomaré una taza de té y comenzaré a poner en práctica mi programa.

Después del té me acordé de los canarios, quedaron impecables, puse la manguera para regar el pastito. Me latié como ostra, me dieron ganas de dejar el agua corriendo e irme a escribir, pero vino a mi memoria otra manguera que nos había dejado sin despedirse. Seguí estoicamente pensando en esas alfombras plásticas con pasto sintético. ¡Deben ser cabellitas!

Seguía regando cuando apareció Hugo, mi vecino.

— Viejo, icómo te val! Mira, te vengo a buscar, hoy es el cumpleaños del Patricio (el hijo). Preparamos con mi hermano un asado a la parrilla, él es campeón para esto. Te vengo a buscar. ¡Vamos!

Como soy débil y me gusta el asado y además me revienta regar el pasto, acepté encantado; guardé la manguera y parti.

Volví a regresar tarde, tuve que aguantar varias tallas a propósito de viudo de verano, todos los varones se mostraban un poquito envidiosos. No saben los ingenuos la media lista de obligaciones que me dejó mi mujer. Además, no se me pasa por la mente salir a buscar nuevos forros; primero soy un hombre fiel; segundo, a mi edad no se debe andar haciendo el loco; tercero, no tengo plata; cuarto, espero cumplir religiosamente mi programa; quinto, las parrandas ya no me gustan porque: a) los amigos de esos

tiempos los perdí de vista y deben estar todos casados; b) el cuero no me da para acostarme tarde y al día siguiente estar como lechuga, y c) las niñas de mi tiempo deben andar bordeando los cincuenta.

Me acuesto, pero antes dejo la ropa limpia lista para la mañana. Compruebo con pesar que por el jueves o viernes tendré que lavar camisas, calzoncillos y calcetines. Por suerte hay bastante detergente.

El reloj está parado, le doy cuerda, pero no anda. ¡Puchas! cómo me despierto mañana. Antes, mi señora se encargaba de eso, ahora estoy sonado. Paso otra noche pésima, a cada rato despierto y miro el reloj pulsera.

En la oficina, todos me miran y hacen comentarios picantes. Tengo una pinta de trasnochado que estos carajos me la envidian. El más fresco dice:

— ¡Viejol! A tu edad ten cuidado con los infartos. Total te quedan dos o tres semanas de libertad.

¡Qué se habrá creído! Ese día, como no estaban los chicos en casa, sin quererlo llegué más tarde, como a las ocho. La casa parece horno, abro todas las puertas y ventanas para que se airee. Me pongo cómodo, cambiándome los pantalones y los zapatos. Voy a la cocina y pienso, la casa está tan silenciosa que oigo lo que pienso. Enciendo la radio y decido preparar un huevo frito, un sandwich de queso con margarina; durazno y una taza de té. Elimino el huevo frito para no lavar el sartén.

Me siento en el living; mientras ceno, decido no comenzar todavía a escribir, es lunes, hubo mucha pega y las malas noches me tienen convertido en piñufla. Me acostaré en cuanto termine la comida.

Cierro todas las ventanas, reviso el reloj, ¡qué bueno, ahora funciona! Lo pongo en la hora y me acuesto feliz.



De pronto un "ruuuuunn" me acaricia el oído, ¡puchas, zancudos! ¡Claro! donde abrí todo y con luces encendidas, aprovecharon estos malditos. Me levanto, busco un matamoscas y desarollo un "safari", mato a tres y vuelvo a acostarme, al rato se repite el ruuunn, justo cuando estaba por dormir. Repito la operación zancudo con el agregado de repartir insecticida por todos los rincones. Me acuesto ahogado, pero consigo dormir.

Despierto con un dolor de cabeza que me llevan los diablos, debe ser el mata zancudo. Cuando ya he tomado desayuno y voy a salir me acuerdo de los canarios y de la lista de clavos. No sé dónde la dejé, encojo los hombros y me voy.

En el camino me asalta una duda. ¡Puchas! ¿Cerré o no la ventana del dormitorio? La imaginación presenta la casa pelada, en verano hay muchos robos, me bajo del bus y regreso.

¡Estaba cerrada! No me acuerdo cuando la cerré, aprovecho de cortar el gas de la cocina y el califont y me voy a la pega.

Más tarde, la locomoción se hace más difícil, llegué atrasado como tres cuartos de hora. Todos mis estimados amigos se miran entre sí sonrientes. ¿Por qué el género humano piensa siempre lo peor de su idem?

Hoy regresé temprano, dispuesto a comenzar mi programa, pero en el camino me acordé de los canaritos, del pastito, del refrigerador y de la basura. Les lavé bien el traste a los primeros, regué rápidamente el pasto. Deshelé el refrigerador y preparé el tarro de basura para sacarlo al otro día. Después preparé otros sandwichs y los acompañé con vino más duraznos. Las vienesas las boté porque no me gustó el olor que tenían.

Preparé los papeles y lápices, me senté a escribir feliz. Cuando llevaba tres líneas se me ocurrió mirar la hora, eran las once y

media, demasiado tarde, me levanté, puse un poco de matazudos y fui a la cama. Mañana, nada tendré que hacer con los canarios y el pasto, me sobrará tiempo, entonces comenzaré mi escrito realmente.

Fui despertado varias veces, l'habrá entrado a robar! Esta idea me quedaba bailando y me mantenía largos ratos a la expectativa, finalmente me dormía para volver a ser despertado por los ruidos. Cuatro veces me levanté pero no vi nada, todo estaba en orden. Después no les hice caso, pero me despertaban igual. Seguramente debe ser en la casa lateral.

Al día siguiente, tuve la respuesta: un gato con poderes extrasensoriales había detectado las vienesas y pese a que las metí bien adentro del tarro, el miciofuz se dio maña para verter toda la basura en el patio, abrir el paquete y darse el banquete. Debe haber quedado muy satisfecho, pues no tuvo ganas de volver la basura al tarro, yo tampoco. Dejé todo como estaba, tomé el té perro (sin azúcar) y galletas. Las cosas algún día se acaban.

Seguramente las comidas y desayuno frugales estaban dejando huellas en el físico, lo noté en el cinturón. Pero mis colegas lo notaron en la cara y no tuvieron empacho en hacermelo saber:

—Estimado viejo, estás demacrado, se te ve más flaco. No nos



quieres hacer caso, toma las cosas con calma. El mundo no se va a acabar.

En la tarde cuando volvía, tuve un presentimiento, fui directo a la cómoda, ¡me quedaban dos camisas limpias! Preparé toda la ropa sucia y me puse a lavar a pulso, no quise ensuciar la lavadora porque después tenía que lavarla a ella. Terminé como a las nueve. Barrí el patio dedicándole algunos pensamientos al maldito gato, busqué algo pesado y lo puse encima de la tapa del tarro. Pensando que al otro día tenía que planchar, fui a la cocina para contentarme con queso y los últimos duraznos.

¡Puchas que hace falta la señora! Lo peor es que la lista no sé dónde la dejé. Mañana tendré que ir donde Don Guillermo a renovar las provisiones, si no me voy a morir de hambre. ¡Cuándo iniciaré mi programa!

Se me ha quitado el humor. Ya no soy el mismo de antes en la oficina. Los amigos dicen que le estoy dando duro, no sé a qué. Si no me regenero voy a dejar una viuda joven. ¡Son unos desalmados!

Me acordé que en vacaciones, aprovechando las casas solas, entran los cacos y se van con lo que pueden. Me preocupa la ropa que dejé colgada en el patio. ¿Estará todavía? ¡Y si me la roban! Es cierto que la casa está bien cerrada, pero podrían entrar por el patio.

¡Cuándo serán las seis para volar a casa! Creo que no hay caso de comenzar a escribir esta semana. Aprovecharé el sábado y domingo, tendrá más tiempo.

El viernes me llamó la señora por teléfono a la oficina:

—Si, m'hijita, estoy muy bien. No, no he podido ir a la tintorería, mucho trabajo, como saben acá en la oficina que estoy solo, aprovechan para darme más pega... Creo que la próxima semana compraré el gas licuado. He gastado muy poco, recuerda

que ya no se hacen almuerzos y solamente me baño yo... Hugo, el vecino me ha invitado a comer... ¿Cómo? ¡me echan de menos! ¡Qué tiernos! ... Sí, podría... Le voy a hacer empeño, a lo mejor voy, no te aseguro.

Y le hago empeño. El viernes por la noche voy en bus destino a la costa. A encontrarme con mi querida familia, volver a la normalidad, ¡Voy hacia la felicidad!

También medito, ya no podré escribir este fin de semana, durante la próxima será firme en mi decisión. Por lo menos será dos horas diarias.

La semana siguiente es igual a la anterior. Los últimos días los empleo en hacer un buen aseo, dejar la casa como espejo, además preparo las chivas para justificar los puntos 4, 7, 8 y 12. Me van a zamarrear de lo lindo. ¡Pero no importa, qué felicidad es estar con todos los míos otra vez! ¡Qué metan bulla pal'mundo!

Todavía no sé si se puede guardar arroz graneado para el otro día.



# corrosión,

## UN FENOMENO DE INTEGRACION CIENTIFICA



Rubén Fuentealba  
Profesor de la Facultad de Ciencia



**E**n el contexto de la actividad humana, prevenir la corrosión es una de las tareas que abarca la conservación de los recursos naturales. Es indistinto si estos materiales son metálicos o no metálicos, las leyes físicas que controlan la degradación de los materiales son, más o menos, las mismas.

En alguna oportunidad de la vida, el ingeniero metalúrgico se encontrará enfrentado a un problema de corrosión y para lo cual, en la mayoría de los casos, no se encuentra preparado. Aquí surge la alternativa de esquivar el problema optando por la vía de reposición del material, o tratar de investigar las causas que lo originaron. Las naciones desarrolladas han optado por esta última

alternativa, no sólo con el propósito de ahorrar en costos económicos, sino de tratar de evitar los problemas secundarios que acompañan a la corrosión y que, en casos extremos, puedan conducir a la pérdida de vidas humanas.

En cuanto al ahorro económico que significa poder resolver o minimizar los problemas de corrosión baste citar a Herbert Uhlig, que en su obra clásica "Corrosion Handbook", da la escalofriante cifra de US\$ 5,5 billones al año por concepto de pérdidas por corrosión solamente en USA.

Si bien el mecanismo de ataque de la corrosión metálica es de naturaleza electroquímica, como en el caso de corrosión atmosférica, o netamente

química, como en el caso de materiales metálicos o cerámicos sometidos a altas temperaturas, no significa que solamente el ingeniero químico sea el más indicado para resolver el problema. La virtud reside en que este fenómeno requiere más bien del concurso de profesionales de las más variadas disciplinas, como ser, metalurgistas, ecólogos, médicos, arquitectos y físicos. Cuando el químico ha logrado establecer los mecanismos del ataque, corresponde ahora al metalurgista, el control del problema, es decir, evitar que continúe, o que desaparezca totalmente el daño, por ejemplo, sugiriendo la elección del material, mejorando la calidad de los existentes por medio de nuevas aleaciones o tratamientos térmicos adecuados, etc.

Los países desarrollados han hecho avances al respecto, ya sea por iniciativas locales o gubernamentales. Lamentablemente en nuestro país aún no existe gran interés en divulgar conocimientos al respecto. Salvo casos aislados de industrias que están obligadas a enfrentar el problema, el resto no le dedica la debida importancia. Lo mismo ocurre con las Universidades que no contemplan esta disciplina en sus programas de ingeniería.

#### Algunos mecanismos básicos.

Es bien conocido que la reacción de los metales con el oxígeno y/o el agua está acompañada por una disminución de la energía libre. Entonces cabría esperar que todos los metales en servicio tenderían a desaparecer como tales, sin embargo se sabe que con muchos materiales metálicos no ocurre así. Una primera explicación es que los productos de corrosión formados generan una película protectora que aisla al metal del medio agresivo. Ahora si los productos de corrosión formados son solubles en algún líquido presente, se observará una rápida destrucción del material.

La mayoría de los óxidos metálicos (a excepción de los metales alcalinos, alcalino-térreos y el talio) son poco solubles en agua. Se debería esperar entonces que los metales se mantengan inatacados en agua destilada. En general, el ataque en agua pura y poco oxígeno es bajo. Pero en ciertos casos un metal se solubiliza en el líquido como un óxido o hidróxido, siendo precipitado (como un hidróxido menos soluble) a una cierta distancia del metal, de manera que no se mantiene la capa protectora del primer óxido más soluble.

Un ejemplo lo constituye el hierro sumergido en agua destilada que se solubiliza en el líquido como hidróxido ferroso y es precipitado luego como óxido férrico hidratado (orín amarillo) a una cierta distancia de la superficie. Este tipo de óxido está formando solamente un contacto físico con el metal y no será buen protector. (figura 1).

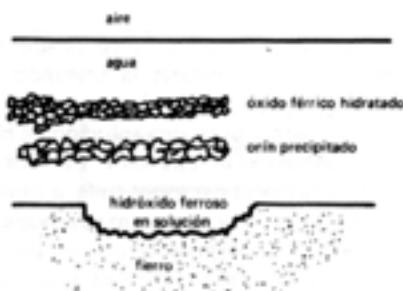


Fig. 1. Oxidación del hierro en agua pura.

Si la cantidad de oxígeno es suficiente para que el óxido férrico hidratado quede en contacto físico con el metal, entonces habrá una disminución del ataque.

El caso más general, en que también los productos de corrosión se precipitan a una cierta distancia del metal, lo constituyen el ataque electroquímico. En general, las reacciones químicas de corrosión son de naturaleza electroquímica, porque está involucrada una transferencia de carga eléctrica. Sin embargo, en el vocabulario de la corrosión se habla de corrosión electroquímica en aquellos casos donde sobre la superficie del metal aparecen zonas que se comportan anódicamente y otras que se comportan catódicamente. Cuando estas zonas anódicas y catódicas corresponden a dos metales distintos se habla de corrosión galvánica. Un ejemplo sería una pieza que consiste en una parte de fierro y otra parte de cobre sumergida en una solución de cloruro de sodio bajo aire. Una corriente pasa entre el fierro, que se comporta como ánodo, y el cobre, que es el cátodo. La magnitud de esta corriente quedaría determinada por la cantidad de oxígeno que está difundiéndose hacia el cobre. Los productos de la reacción, el cloruro ferroso en el ánodo y el hidróxido de sodio en el cátodo, se juntarán en la interfase metálica para que el cloruro pase a hidróxido ferroso que, a su vez, consumirá más oxígeno para formar el óxido férrico hidratado. (figura 2)

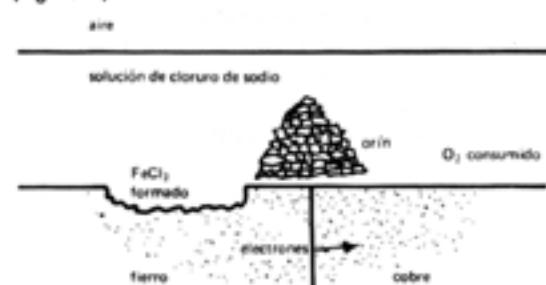


Fig. 2. Corrosión galvánica del fierro en contacto con el cobre.

Este mecanismo electroquímico puede ocurrir incluso sin que sea necesaria la presencia de un segundo metal. En el caso de un trozo de fierro sumergido parcialmente en una solución de cloruro de sodio se observa la aparición de numerosas zonas anódicas y catódicas sobre toda la superficie, debido a diferencias físicas y químicas locales en el metal. Sin embargo, después de un tiempo en que se ha consumido una cierta cantidad de oxígeno, la única zona que está en condiciones de reponerlo es la que queda en la línea de agua y por lo tanto las zonas catódicas del fondo dejarán de funcionar y se transformarán en zonas anódicas con disolución del metal. Ya que la corriente catódica debe ser igual a la corriente anódica, la parte cercana a la línea de agua será predominantemente catódica y el óxido precipitará en el límite entre las dos zonas. (figura 3)

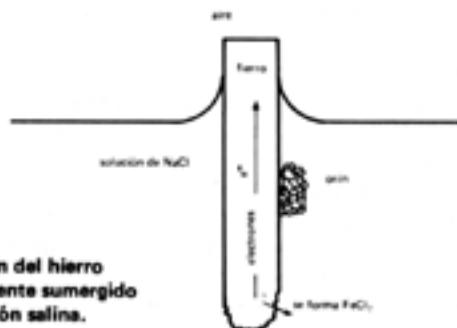


Fig. 3.  
Corrosión del hierro  
parcialmente sumergido  
en solución salina.

En el ejemplo anterior, queda de manifiesto la inmensa influencia en la corrosión que tiene el oxígeno atmosférico disuelto en el medio corrosivo. En aquellas zonas con más acceso de oxígeno, se produce la reducción de éste para formar el anión  $\text{OH}^-$  y por lo tanto no hay ataque del metal. En las zonas donde el oxígeno es más escaso se produce la disolución del metal. Este fenómeno se conoce como el Principio de Aireación Diferencial y tiene gran influencia en el proceso corrosivo general. La eliminación del oxígeno por medio del desgasado del electrolito es un método eficaz para disminuir la corrosión, como en el caso de las calderas.

Sin embargo, el mecanismo de la corrosión, en algunos casos, todavía va más allá que los ejemplos citados anteriormente. En materiales nobles que se comportan satisfactoriamente frente al ataque atmosférico hay problemas por ataque localizado. Este último es altamente desastroso por cuanto no es detectable a simple vista como la corrosión homogénea. Se puede presentar bajo diferentes formas, dependiendo de las condiciones del material y del medio agresivo. Estas formas pueden ser: picaduras, ataque intergranular, corrosión bajo tensión que es la acción combinada de una tensión mecánica y un ataque químico que provocan la

formación de fisuras que se propagan a través del material con gran velocidad.

Algunos materiales nobles como los aceros inoxidables, aleaciones de cobre, aluminio, se comportan bien frente a la corrosión atmosférica gracias a la película sobre su superficie y que, a pesar de su pequeño espesor, es muy impermeable al medio agresivo y está muy bien adherida al metal base. En estas condiciones se dice que un metal está pasivado. El material, sin embargo, queda expuesto a un potencial más positivo que su potencial termodinámico reversible, es decir, a un potencial mucho más agresivo en el sentido termodinámico. Si una pequeña parte de la película se daña, esa zona experimentará corrosión a una velocidad muy alta, y que en algunos casos sólo va a poder disminuir debido a un fenómeno de transporte de masa, que corresponde a la velocidad de remoción del metal y que limitará la cinética del proceso total. La densidad de corriente es alta en estas pequeñas zonas descubiertas. En el resto del material, que permaneció pasivado e inatacado ocurre el proceso de reducción catódica con absorción de electrones. La pasividad de los metales, si bien es útil para prevenir un ataque generalizado, es ineficiente para prevenir el ataque localizado. El mecanismo, de aparición de la corrosión localizada no está aún bien claro y es objeto de numerosos estudios en la actualidad.

Al ingeniero de corrosión le corresponderá, una vez conocidos estos mecanismos básicos, evaluar su magnitud y proponer soluciones para su control. Se disponen de varias técnicas para conocer el mecanismo de acción del proceso corrosivo. Una de las más eficaces es la electroquímica que evalúa el valor de la corriente que atraviesa la interfase metal-electrolito a medida que se saca al metal de su equilibrio termodinámico, mediante la aplicación de un potencial. Estipulando que el proceso de corrosión obedece solamente a la transferencia de cargas eléctricas, se puede deducir una relación sencilla entre la corriente y el potencial, siempre que este último sea mayor que 100 mV con respecto al potencial termodinámico de equilibrio.

$$\eta = a + b \log i$$

en que  $\eta$  corresponde al sobrepotencial, es decir, la diferencia entre potencial aplicado y potencial de equilibrio;  $i$  es la densidad de corriente, que corresponde también a la velocidad con que ocurre el proceso sometido a un sobrepotencial;  $a$  y  $b$  son constantes empíricas características para cada material. De la ecuación se deduce que el parámetro "a" está relacionado con la velocidad en ausencia de sobrepotencial, eso es la verdadera velocidad de corrosión del proceso. De esta manera, si se grafica el sobrepotencial versus el

logaritmo de la densidad de corriente por extrapolación hasta  $\eta = 0$  es posible determinar cuantitativamente la velocidad del proceso.

"b" representa entonces la pendiente de la recta de ese gráfico, y en ella están incluidos varios términos cinéticos, como el número de cargas en juego, la constante de Faraday, la temperatura, etc.

Frente a los métodos electroquímicos existen numerosas otras técnicas como ser: el método clásico de evaluación por pérdida de peso de una probeta sometida a un medio agresivo durante un tiempo prolongado, métodos de análisis espectrográficlos como infrarrojo para determinar espesores de films, rayos X para conocer los componentes de la capa, microscopía metalográfica y electrónica para determinar el estado de la superficie.

Al ingeniero corrosiónista le deberá interesar, sobre todo, poder hacer un control a la corrosión. Estos son numerosos y van, desde la simple aplicación de una pintura apropiada, hasta sofisticadas técnicas de protección catódica, pasando por una serie de métodos alternativos como tratamientos térmicos, uso de inhibidores químicos, selección de materiales, etc.

Debido a la complejidad del fenómeno, es que todavía no ha podido ser controlado totalmente. Los países de alta tecnología miden el avance económico en base al consumo de materiales metálicos, especialmente ferrosos. Es por esto que ellos dedican grandes esfuerzos en conocer las causas que lo provocan. A esto han contribuido prestigiosas instituciones científicas, entre las que es preciso señalar a la National Association of Corrosion Engineers (NACE) y la Electrochemical Society de U.S.A. En Japón y en la URSS existen organismos al más alto nivel que conceden importancia primordial al estudio de este problema. Japón lo hace a través del Ministerio de Comercio e Industrias, y la URSS a través de la Academia de Ciencias. Estas Instituciones, además de destinar considerables fondos para la investigación, editan revistas de excelente nivel científico, organizan decenas de congresos internacionales en el año, promueven el intercambio científico más allá de las diferencias culturales, tecnológicas y políticas.

Es por esto que la corrosión, a pesar de ser un problema latente, tiene la virtud de producir el acercamiento entre científicos de distintas nacionalidades y disciplinas, pero que están interesados en utilizar la tecnología como una manera de mejorar las condiciones de vida, pensando que los materiales y la técnica pertenecen a todos los hombres. Que no hay ideas las cuales alguien pueda apropiar para sí, sino que todo pertenece al acervo internacional del conocimiento.

## SODIMAC

### AL SERVICIO DE LA INDUSTRIA

- Trat. Térmico Fono: 772422
  - Aceros especiales Fono: 376349
  - Aceros finos al carbono, aleados y planchas para usos especiales.
- CAP Y  
Röchling Burbach  
— Departamento de Maquinarias  
— Laboratorio Metalográfico  
Local de Venta — Aceros especiales  
Sazie 2450 — Fono: 90052 — 97186

### OFICINAS GENERALES Y BODEGA

PANAMERICANA NORTE 3092  
FONO 778506 — SANTIAGO.

## MANGANESES ATACAMA S.A.

### FERRO MANGANESO STANDARD

74% — 76%

### BIOXIDO DE MANGANESO

80% — 82%

AGUSTINAS 1022 — OF. 920  
TELEFONOS 66069 — 67350

# empleo de sulfhidrato de sodio como depresante de cobre en la recuperación de molibdenita



**Ing. Patricio Rodríguez H.**  
Prof. Jornada Completa  
Departamento de Metalurgia



Vista general de Twin Buttes (USA).

Alrededor de un 40 % de la demanda actual de molibdeno se satisface por el tratamiento de minerales de cobres porfíricos,<sup>1</sup> desde los cuales la molibdenita es obtenida como un subproducto de la recuperación de cobre. El proceso contempla, en una primera etapa, una flotación colectiva de las especies sulfuradas de cobre y molibdeno y una depresión de la pirita en un circuito alcalino, logrado con la adición de cal. En una etapa posterior se lleva a cabo una flotación selectiva de molibdenita por depresión de los sulfuros de cobre y fierro.

Considerando todas las plantas del mundo que operan bajo este esquema, nos encontramos con que la recuperación global promedio de Mo es del

orden de 50 %. Esta baja recuperación se debe a que las condiciones de flotación colectiva se fijan para obtener los óptimos resultados en la flotación de cobre, pasando a ser la flotación de  $\text{MoS}_2$  de carácter secundario. Esto no ocurre en el circuito de flotación selectiva, donde la recuperación de  $\text{MoS}_2$  es del orden de 90 %.

Para llevar a cabo la depresión de los sulfuros de Cu y Fe se utilizan una variedad de reactivos entre los cuales destaca: Anamol D (mezcla de  $\text{Na}_2\text{S}$  y  $\text{As}_2\text{O}_3$ ); reactivo de Nokes, conocido comercialmente como LR-744 (mezcla de  $\text{P}_2\text{S}_5$  y  $\text{NaOH}$ ); sulfuro de sodio, sulfhidrato de sodio y  $\text{Na}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ . En muchos casos, la acción de un depresante se refuerza con la adición de otro, especial-

mente cianuro de sodio el que se agrega preferencialmente en los circuitos finales de limpieza y que posee una acción lixiviante sobre el cobre, la que es altamente beneficiosa debido a que los concentrados de  $\text{MoS}_2$  deben tener un mínimo contenido de cobre.

La elección del reactivo adecuado depende en gran medida del tipo de yacimiento, especialmente si es calcocítico o calcopirítico. En el caso chileno, por ejemplo, Anamol D da buenos resultados en Chuquicamata y El Salvador y ambos poseen como especie útil principal calcocita. En cambio, el reactivo de Nokes se utiliza con éxito en El Teniente y Sulfhidrato de sodio da también buenos resultados en Andina y ambos en su mineralización presentan principalmente calcopirita.<sup>2</sup>

La estadística mundial sobre el uso de estos principales depresantes arroja el siguiente resultado:<sup>3</sup>

- 5 casos de uso directo de  $\text{Na}_2\text{S}$
- 7 casos de uso preferencial de  $\text{NaHS}$
- 6 casos de uso de reactivo de Nokes
- 7 casos de uso preferencial de  $\text{Na}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$
- 2 casos de uso de Anamol D

### SULFHIDRATO DE SODIO

El sulfhidrato de sodio reacciona con todos los ácidos liberando ácido sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) a temperaturas normales de almacenamiento. La velocidad de evolución del  $\text{H}_2\text{S}$  aumenta con la temperatura. La solución también reacciona con agentes oxidantes, los cuales pueden llegar a precipitar azufre elemental. El producto puede ser disuelto en agua en cualquier proporción.

En la manipulación del  $\text{NaHS}$  deben emplearse las mismas precauciones que se aplican en las soluciones de ácidos concentrados o álcalis. Si entra en contacto con la piel, esta debe lavarse inmediatamente con abundante agua.

Con respecto a su corrosividad se ha encontrado que sus soluciones son menos corrosivas para los aceros de tal manera que estos pueden usarse para la mayoría de las aplicaciones. Aluminio, zinc y cobre no son resistentes y por lo tanto no deben usarse. La corrosión para cada metal o aleación aumenta rápidamente con la temperatura.

Este reactivo además de ser depresante para sulfuros de cobre y fierro, tiene una variedad de aplicaciones tales como: en el tratamiento de algunos tipos de vidrios; en la precipitación de metales pesados; en la producción de algunos papeles especiales; en la fabricación de algunos colorantes; en el teñido de algodones, cueros y pieles; etc.<sup>3</sup>

Como depresante, el sulfhidrato de sodio presenta la ventaja, frente a otros similares como por ejemplo el reactivo de Nokes, de su baja toxicidad

relativa, facilidad de manejo y preparación (especialmente cuando viene como solución), y en el caso chileno un menor costo relativo ya que puede ser abastecido por Refinería ENAP de Concepción, empresa que fabrica este reactivo especialmente para estos fines.

Básicamente el sulfhidrato de sodio no es otra cosa que ácido sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) gaseoso absorbido en una solución de hidróxido de sodio.



Al estar éste en solución se hidroliza y el  $\text{H}_2\text{S}$  formado se disocia enseguida según las ecuaciones:



siendo sus correspondientes constantes de dissociación:

$$K_1 = \frac{[\text{H}^+] [\text{HS}^-]}{[\text{H}_2\text{S}]} = 10^{-7}$$

$$K_2 = \frac{[\text{H}^+] [\text{S}^{2-}]}{[\text{HS}^-]} = 2 \times 10^{-15}, \quad 20^\circ\text{C}$$

Con los valores de estas constantes y considerando que la suma de las concentraciones de las especies presentes es  $10^{-3}\text{ M}$  (línea llena) o bien  $2 \times 10^{-4}\text{ M}$  (línea punteada) se construye el diagrama que se presenta en la figura N° 1<sup>5</sup>

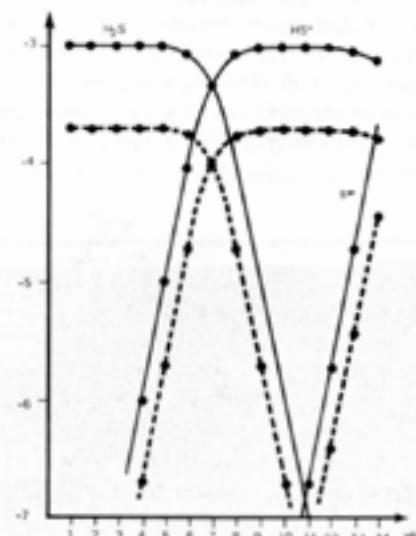


Fig. 1. Diagrama pH vs log. de la concentración

$$[\text{H}_2\text{S}] + [\text{HS}^-] + [\text{S}^{2-}] = 1 \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$[\text{H}_2\text{S}] + [\text{HS}^-] + [\text{S}^{2-}] = 2 \times 10^{-4} \text{ M}$$

Es importante mencionar que diferentes autores han encontrado distintos valores para la constante  $K_2$  variando éstos entre  $10^{-12}$  y  $10^{-17}$ . Sin embargo, la forma del diagrama presentado en la figura N° 1 no variará considerablemente al asumir cualquiera de estos valores para su construcción.

En esta figura, se aprecia claramente que para pH ácidos la especie predominante en solución es ácido sulfídrico, como es lógico suponer, y que para el rango de pH ocupado generalmente en plantas de recuperación de molibdenita, es decir, entre pH 9 y 11,5, sin duda la especie predominante en solución es el ión sulfidrato. Así por ejemplo si tomamos un pH intermedio dentro de este rango, digamos 10, veremos que la concentración de ión sulfidrato es  $10^3$  veces mayor que la concentración de ácido sulfídrico y es también mayor que la concentración de ión  $S^{2-}$  en una cifra superior al  $10^3$ . Del diagrama podemos apreciar también que la concentración de ión  $S^{2-}$  se hará significativa sólo para pH superiores a 13, aproximadamente.

Referente a la concentración de iones sulfidrato en solución, diremos que ésta se ve afectada por la presencia de oxígeno disuelto en agua, de tal manera que se produce una oxidación de esta especie la que se ve favorecida, en la pulpa mineral, por la presencia de minerales sulfurados los que catalizan esta oxidación dando como productos sulfito, sulfato y tiosulfato.

Con respecto a los mecanismos de acción de este reactivo, Castro-Pavez<sup>6</sup> estudiando los reactivos Anarmol-D, LR-744 y sulfidrato de sodio, demuestran que los tres son poderosos agentes desorbentes de xantato, desorción que se produce ya sea por desplazamiento del xantato desde su sal cuprosa o bien por reducción de dixantógeno. Destacan que una diferencia importante entre los reactivos estudiados radica en el tiempo de duración de su efecto depresor, el que es menor para el sulfidrato de sodio debido a la oxidación que

sufre éste y que se mencionará anteriormente. Demuestran que la adición de  $As_2O_3$  aumenta o refuerza la acción depresora del sulfidrato y le confiere además una acción prolongada. Destacan que el punto importante en cada uno de estos reactivos es su concentración de  $Na_2S$  (el que está presente en cada uno de ellos en porcentajes variables) y que los otros reactivos sirven para reforzar su acción y conferirles un efecto prolongado.

#### **APLICACION INDUSTRIAL COMO DEPRESANTE EN FLOTACION**

A continuación se entregan algunos antecedentes sobre el uso industrial de NaHS en la mayoría de las plantas del mundo en que este es usado a fin de ver su modo de aplicación y los resultados obtenidos.

#### **1. CODELCO CHILE División Andina**

La planta de molibdenita Andina fue diseñada para operar con reactivo de Nokes o LR-744 como depresante y con éste inició su operación. Sin embargo, a fin de prevenir problemas derivados de su preparación, que en sí es riesgosa, se investigó el posible uso de otro reactivo, llegándose a establecer finalmente el uso en planta del NaHS.

El mineral base presenta calcopirita como especie principal de cobre y su ley de Mo es de 0.015%, siendo éste el más bajo registrado por las divisiones de CODELCO CHILE. En la flotación colectiva el nivel de Mo sube aproximadamente a un 0.3%.

El NaHS se utiliza como único reactivo depresante, tanto en el circuito primario como en todos los circuitos de limpieza. Su aplicación es a la forma de solución al 25%, siendo su consumo aproximado de 13 lbs. por tonelada de alimentación a la planta de Molibdenita.



VENTANAS

CONTRIBUCION  
DEL

CENTRO DE INGENIEROS DE EJECUCION

UNIVERSIDAD TECNICA DEL ESTADO

Como producto se obtiene un concentrado de 88% de MoS<sub>2</sub> y aproximadamente 1% de Cu el que pasa posteriormente a lixiviación a fin de bajar el nivel de cobre. La recuperación de Mo en la planta de MoS<sub>2</sub> es del orden de 90% y la del proceso global cercana al 50%.



Planta de molienda de la Compañía Minera Andina.

## 2. UTAH MINES LTD. Island Copper Mines CANADA<sup>7</sup>

El mineral principal de cobre es calcopirita y la alimentación al circuito de flotación colectiva tiene habitualmente un 0.5% Cu y 0.017% Mo.

El NaHS es recibido, en la planta, en solución al 45% y luego se diluye a 25%, siendo de esta manera almacenado a temperatura ambiente sin ningún problema de cristalización, la que depende en gran medida de esta variable y mientras menor sea la concentración, menor será la temperatura de cristalización, encontrándose que para soluciones de concentración menor a 45% las temperaturas de cristalización serán inferiores a 0°C.

El sulfhidrato de sodio es agregado en solución al 25% a acondicionadores previos a la flotación primaria y en una pulpa con un alto contenido de sólidos (65-70%) a fin de minimizar la adición de reactivo. La pulpa es luego diluida a 35-40% de sólidos para la flotación primaria. Adicionalmente se agrega NaHS al circuito de primera limpieza y ocasionalmente a la segunda limpieza.

El consumo de este reactivo es de 12 a 14 lbs. por tonelada de cabeza a la planta de MoS<sub>2</sub>.

Cianuro de sodio es empleado como depresante secundario y su consumo es de 2 lbs./ton.

Se alimenta a la planta de MoS<sub>2</sub>, 660 ton/día con un contenido de 0.8% Mo. La

recuperación de éste depende principalmente del contenido de gilsonita (mineral de carbón) del mineral, el cual varía en un amplio rango (0.01 a 1.0% C) y presenta condiciones similares de flotación a la MoS<sub>2</sub>, siendo por este motivo el mayor contaminante en el producto final. La recuperación de Mo varía desde 10 a 70%, siendo un promedio de 30%.

## 3. ASARCO Mission Unit. EE.UU.<sup>7</sup>

El mineral de cabeza posee un 0.7% Cu y 0.02% Mo, siendo la especie útil principal de cobre la calcopirita.

El sulfhidrato de sodio es recibido en solución al 45%, diluido a 22% para propósitos de almacenamiento y luego a 11-13% para su adición a los diferentes puntos del circuito. Su consumo está en el rango de 20 a 35 lbs./ton. Ningún otro depresante adicional es agregado, ya que el uso de cianuro de sodio fue eliminado desde el circuito en octubre de 1974 por razones ecológicas.

El concentrado final de la planta de MoS<sub>2</sub> contiene 85% MoS<sub>2</sub>, 1.0% Cu y la recuperación global de Mo es del orden de 65%.

## 4. ANAMAX Twin Buttes EE.UU.<sup>7</sup>

La cabeza general de flotación colectiva presenta leyes de 0.6% Cu y 0.03% Mo, siendo el principal mineral de cobre la calcopirita.

El proceso de flotación selectiva contempla el empleo de NaHS y una pulpa caliente a 110°F (43.4°C).

El uso de esta temperatura mejora la acción del NaHS resultando una depresión de cobre más completa. Sin embargo, la duración del efecto depresor se ve disminuida a altas temperaturas



Flotación de Molibdenita en Brenda Mines (CANADA).

debido a un aumento de la velocidad de descomposición de NaHS.

La operación normal de la planta de MoS<sub>2</sub> se lleva a cabo cuando se tiene en la alimentación un contenido entre 0.5 y 1.5% Mo. El grado de concentrado final es mantenido alrededor de 40% Mo. La recuperación global de MoS<sub>2</sub> es del orden de 35%.

El consumo total de NaHS es aproximadamente de 11 lbs/ton., y este es agregado como único depresante tanto en el acondicionador de cabeza, como en el circuito rougher y los circuitos de limpieza a excepción del último.

## 5. GIBRALTAR MINES LTP.

El mineral contiene 0.44% Cu y 0.016 - 0.02% Mo siendo su mineralización principal de calcocita y calcopirita.

Se utiliza NaHS en los circuitos primarios de agotamiento y 1<sup>a</sup> limpieza, siendo su consumo de 20 - 22 lbs./ton. La acción de este reactivo se ve reforzada por la adición de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S a razón de 5 - 9 lbs./ton., y cianuro de sodio cuyo consumo es de 1.5 a 2.5 lbs./ton. Se obtiene un producto final de la planta de MoS<sub>2</sub> con leyes de 80% MoS<sub>2</sub> y 1.0% Cu, siendo la recuperación de Mo del orden de 50% en la flotación colectiva y 60% en la flotación selectiva, lo que da una recuperación global de 30%.

## CONCLUSIONES

El empleo de NaHS en nuestro país se ve favorecido por el hecho de ser este un reactivo factible de producir en Chile, lo que es una realidad, con las consiguientes ventajas que esto significa.

El sulfhidrato de sodio se ocupa como depresante en aquellos minerales que presentan como especie principal de cobre calcopirita y su acción puede o no ser reforzada por la adición de otro depresante.

El uso de este reactivo en pulpas calientes mejora la depresión. Sin embargo, la duración del efecto depresor se ve disminuida por una mayor velocidad de descomposición.

Su almacenamiento se realiza en soluciones al 25% para evitar problemas de cristalización. Esta misma concentración es adecuada para agregarlo en los diferentes circuitos de flotación.

Salvo problemas particulares las recuperaciones de Mo en la flotación selectiva son buenas y las bajas recuperaciones globales se deben al circuito de flotación colectiva y es en éste donde se hace necesario optimizar la recuperación de MoS<sub>2</sub>, sin que esto signifique una baja en la recuperación de cobre, sobre todo en estos tiempos en que la molibdenita presenta un alto precio con una tendencia alcista.

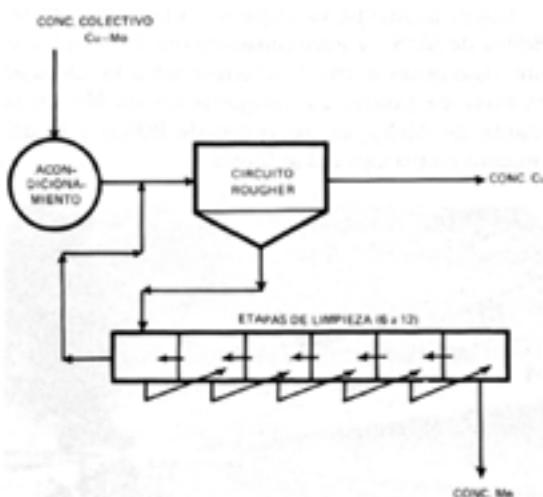
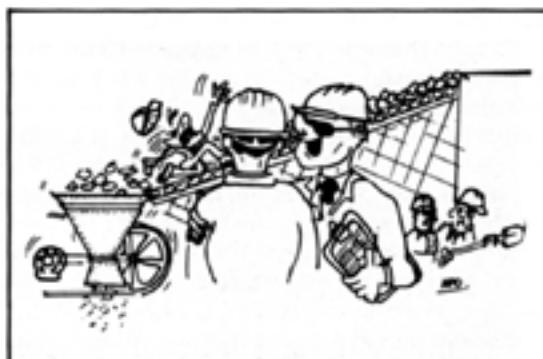


Fig. 2. Esquema básico de un circuito de flotación selectiva de MoS<sub>2</sub>

## BIBLIOGRAFIA

1. SUTULOV, A. "Flotation Recovery of Molybdenite" 16-th Anual Conference of Metallurgists Vancouver, August 1977.
2. CASTRO, S. "Flotación Selectiva de MoS<sub>2</sub> desde yacimientos de cobre porfíricos" Santiago. Investigaciones Mineras y Metalúrgicas, 1977, pág. 94-100.
3. ENAP Refinería Concepción. "Sulfhidrato de Sodio"
4. AIME "Froth Flotation" Volumen del 50 aniversario, 1962, pág. 160.
5. CASTRO, S., RODRIGUEZ, P. "Evaluación de la Planta de Recuperación de Molibdenita Andina operando con Sulfhidrato de Sodio" Universidad de Concepción, 1977.
6. CASTRO, S., PAVEZ, O. "Mecanismos de Acción de Anamol-D, Reactivo de Nokes y Sulfhidrato de Sodio en la flotación de MoS<sub>2</sub>" Avances en Flotación, Volumen 3, pág. 111, Escuela de Ingeniería. Universidad de Concepción.
7. Correspondencia personal. 1978.



*IDEJELO HOMBRE! ... AL COMIENZO TODOS TENEMOS ALGUNAS DIFICULTADES*



**Fernando Díaz J.**  
Ing. Civil Metalúrgico  
Prof. Departamento Metalurgia

## INTERCAMBIO TECNOLOGICO

**H**emos recibido la siguiente consulta relativa a problemas que acortan la vida útil de los crisoles usados en fundición:

**CONSULTA:**

En mi Fundición, tengo dos Hornos de Crisol basculantes de 150-200 Kgs. (bronce) de capacidad. En uno de ellos el crisol se agrieta en media altura y en el otro, el crisol se rompe en la base. He comparado con tablas de fabricantes y observo que la vida útil de los crisoles es menor en 40% a la estipulada. Además, informo que he utilizado más de tres marcas distintas de fabricantes y el resultado es similar.

**RESPUESTA:**

La duración o vida de un crisol es variable según

sea la manipulación y trato a que sea sometido y pocas veces se debe a la calidad de éste.

Como no conocemos los hornos ni tampoco el rendimiento del crisol según número de coladas, indicaremos pautas generales para que sirvan de guía en la solución de su problema:

a) ALMACENAJE:

Lugar seco y templado.

b) TRATO:

Evitar golpes o rodar crisoles por traslados.

c) INSTALACION:

Toda superficie de base o lateral en contacto con refractario debe separarse con cartón para que al quemarse, deje espacio de dilatación. Todo fabricante indica las tolerancias necesarias.

d) DISEÑO DE HORNO:

Si el eje del quemador no se fija en la línea crisol-base o si la llama no es tangencial y choca contra el crisol, produce un desgaste y rotura prematura en la parte baja del crisol. También si entre crisol y refractario no hay distancia mínima de 2 1/2" o la base del crisol está más alta o más baja que la recomendada por el fabricante de crisoles, se producen focos calientes y desgaste prematuro lateral que acortan la vida del crisol.

e) EXPANSION:

Al introducir carga fría con longitud mayor que la mitad del diámetro del crisol, en el calentamiento, dilata el metal y produce grietas y/o rotura del crisol.

**A LA GRAN MINERIA**  
**CARR Y CIA. S.A.C.**  
**Y MARUBENI CORP. (JAPON)**  
**OFRECEN**

PUENTE GRUAS P. & H. DE TODO TIPO  
ESPESADORES Y FILTROS EIMCO  
CLASIFICADORES, CELDAS DE FLOTACION  
Y CICLONES WEMCO. BOMBAS NISSO WARMAN.  
HORNOS ROTATORIOS DE CALCINACION  
CHANCADORAS SYMONS Y NORDBERG.  
MAQUINARIA INDUSTRIAL EN GENERAL.

SUMITOMO - JUKIKAI ENVIRONMENTAL  
UBE INDUSTRIES LTD. - PACIFIC METALSCO, ETC.  
SON LOS FABRICANTES



**f) CHOQUE TERMICO:**

Calentamientos o enfriamientos bruscos causan fracturas, o bien, si se corta el paso del combustible, dejando que el aire frío insuflado produzca variación brusca de temperatura.

**g) REACCION QUIMICA:**

El uso indiscriminado de fundentes o escorias gruesas de bajo punto de fusión atacan al crisol por el mayor tiempo de contacto con éste que con el metal mismo, siendo esto más crítico a temperaturas elevadas debido al aumento de la velocidad de la reacción.

**h) MANEJO:**

Si el crisol se extrae con tenazas y éstas no están diseñadas para la forma del crisol, producen grietas o fracturas en los puntos de contactos donde la tenaza hace palanca.

En resumen, según el daño, Ud. puede orientar la búsqueda del problema para su solución:

DAÑO	CAUSA PROBABLE
1. Descascaramiento externo lateral	: Humedad del crisol
2. Saltaduras externas en base	: Vitrificado dañado por golpes
3. Grieta vertical superior	: Apoyo lateral sin tolerancia
4. Grietas ramificadas laterales	: Carga muy grande rotura por expansión
5. Costrones circulares externos	: Choque térmico
6. Grieta o fractura externa en centro o bordes	: Daños por tenaza
7. Desgaste interno superior	: Erosión química por agentes o escorias
8. Fracturas totales en diagonal (exterior a interior)	: Choque térmico
9. Desgastes en parte inferior o borde	: Diseño de horno

**TABLA DE VIDA UTIL PROMEDIO  
(Nº de coladas vida normal)**

TIPO HORNO*	ALUMINIO	BRONCE	LATON
POZO	200/320	100/200	70/140
BASCULABLE	200/350	90/130	60/100
FIJO	180/270	60/80	120/195

- \* Combustible:  
Petróleo Diesel. El uso de Parafina disminuye la vida del crisol y quemador por su gran poder abrasivo.

**SONAMET LTDA.**

SOCIEDAD NACIONAL  
METALURGICA LTDA.

FUNDICION Y RECUPERACION  
TODA CLASE DE ALEACIONES  
NO FERROSAS – COBRE  
BRONCE – LATONES  
ALUMINIO – ZINC – PLOMO  
METALES BLANCOS

PACIFICO 2436  
CAS. 7050 – SAN MIGUEL  
TEL. 511170

**CENTRO DE INVESTIGACION  
MINERA Y METALURGICA**

Ofrece al Productor Minero:

- \* Investigación aplicada en todas las etapas del proceso productivo minero y metalúrgico.
- \* Servicio de análisis químico clásico, microscópico e instrumental.
- \* Planta Piloto de chancado, molienda y flotación, y de transporte hidráulico de sólidos por tuberías.

AV. PARQUE INSTITUCIONAL 6500  
FONO 289544 – CASILLA 170 CORREO 10  
SANTIAGO

Santiago, 4/9 de Noviembre de 1979

# PRIMER CONGRESO NACIONAL DE METALURGIA



Comisión Organizadora en sesión de trabajo



Edificio de la Facultad de Ingeniería

Desde hace algún tiempo, varias instituciones universitarias y similares han considerado seriamente la factibilidad de realizar un encuentro de todos los especialistas en Metalurgia de nuestro país. Algunas de esas instituciones han materializado concretamente esa iniciativa, a través de jornadas limitadas a ciertas especialidades dentro del campo de los metales, como han sido por ejemplo, las Jornadas de Química de Superficies iniciadas por la Universidad de Concepción, las Jornadas de Fundición organizadas por INIMERA, el Primer Encuentro de Ingeniería de Minas organizado por la UTE y el Primer Congreso Nacional de Soldadura, recientemente realizado en la Universidad Técnica Federico Santa María, así como otros eventos similares.

Existe en nuestro Departamento, al igual que en otras instituciones, el consenso de que se ha alcanzado una suficiente madurez en el contexto de la Metalurgia en el país, así como una capacidad probada en la organización de eventos de esta naturaleza, como para realizar un Congreso Nacional que no sólo integre en su participación a todos los profesionales chilenos en el campo, sino que también se proyecte al ámbito latinoamericano, mostrando así a los países hermanos la real capacidad tecnológica de Chile.

El intercambio de ciencia y tecnología a través de exposiciones de excelencia técnica en el amplio campo de los metales, ha demostrado claramente resultar un mecanismo viable y eficaz para los fines señalados.

En el contexto general ya establecido, se ha organizado el Primer Congreso Nacional de Metalurgistas, de acuerdo a metas definidas por una integración adecuada de los profesionales metalúrgicos, difusión del

desarrollo científico y tecnológico alcanzado, coordinación de esfuerzos orientados al avance de la disciplina, promoción de intercambio de información y promoción de la investigación aplicada al sector productivo.

La realización del evento se ha programado para la semana del 4 al 9 de noviembre del presente año, en el Campus de esta Universidad.

Para efectos de la orientación de los trabajos a ser presentados, se ha considerado un temario general encuadrado en la Ingeniería de Procesos, Desarrollo, Investigación Básica y Aplicada, Enseñanza de la Ingeniería Metalúrgica y Energía, Economía y Transferencia de Tecnología. Los principales tópicos específicos que se proponen son los siguientes:

#### A. METALURGIA EXTRACTIVA

- Preparación Mecánica y

#### Concentración de Minerales

- Hidrometalurgia
- Pirometalurgia
- Siderurgia y Reducción Directa
- Electrometalurgia

#### B. METALURGIA ADAPTIVA

- Fundición y Solidificación
- Soldadura
- Aceros y Tratamientos Térmicos
- Conformado de Metales
- Ensayos Mecánicos y Control de Calidad

Se ha comprometido la participación en el Congreso, de dos expertos de prestigio internacional en las áreas de Metalurgia Extractiva y Ciencia de Materiales, quienes ofrecerán exposiciones generales sobre el rol de la Metalurgia en la sociedad contemporánea, y charlas especializadas sobre los últimos avances en la tecnología de los metales y otros materiales. Durante la

semana siguiente al Congreso, ambos expertos dictarán cursos de su especialidad a los participantes interesados.

Paralelamente al Congreso, y anexo al recinto de conferencias, se llevará a cabo una exposición industrial metalúrgica, donde el sector productivo, así como las instituciones de asistencia técnica podrán presentar sus últimos adelantos en beneficio de la comunidad.

Finalmente, la Comisión Organizadora del Congreso invita a todos los colegas que laboran en la industria metalúrgica, así como en cualquier otra actividad relacionada con ella, a participar en forma activa, ya sea a través de la presentación de trabajos, o bien, con su valiosa presencia, la que sin lugar a dudas contribuirá al éxito de las jornadas. Para esos fines rogamos enviar hoja anexa con la información solicitada.

## MADECO RAPIDEZ Y PRECISION

### Moderno espectrómetro aporta un alto grado de calidad.

**MANUFACTURAS DE COBRE S.A.**, ha marchado paralelamente con el avance tecnológico actual, contando así en sus Laboratorios con modernos equipos de alta velocidad y precisión para comprobar el fiel cumplimiento de normas mundialmente establecidas. Un moderno espectrómetro entrega en pocos segundos resultados que en procesos químicos tradicionales requieren horas.

El espectrómetro empleado en MADECO corresponde al tipo de emisión y está calibrado para el análisis de los metales no ferrosos de uso normal de la Empresa: cobre, aleaciones en base cobre y aluminio.

El principio del equipo indicado está basado en una chispa eléctrica que se aplica a una muestra debidamente preparada, por desplazamiento orbital de electrones, entrega energía con una determinada longitud de onda específica para cada elemento correspondiente a la aleación. La luz generada en el chispeo de la muestra llega a un prisma, dispersando la emisión de acuerdo a las diferentes longitudes de ondas, donde fototubos captan estos rayos transformándolos en energía mecánica, susceptible de medirse en forma de cuentas en los contadores del sensible sistema de registro.

Equipos como el indicado y otros, garantizan a los usuarios nacionales e internacionales (de 28 países del mundo) la alta calidad, eficiencia y prestigio alcanzado por **MANUFACTURAS DE COBRE S.A.** en todos sus productos como conductores eléctricos, telefónicos, planchas, flejes, tubos, cañerías, barras y perfiles.



# PRIMER CONGRESO NACIONAL DE METALURGIA

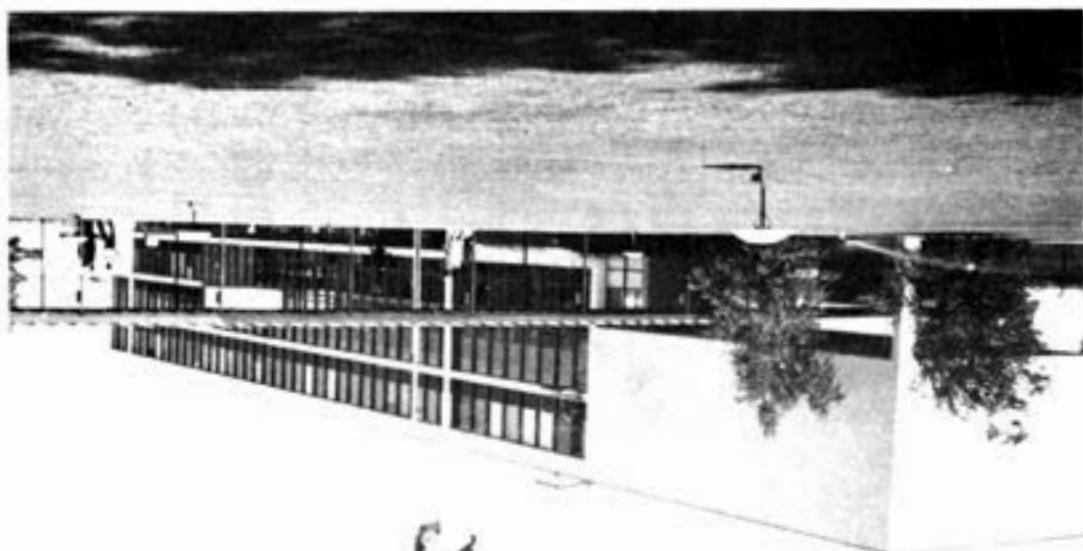
DEPARTAMENTO DE METALURGIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD TECNICA DEL ESTADO

4 / 9 Noviembre 1979

Santiago  
Castilla 10233

Universidad Técnica del Estado  
Facultad de Ingeniería  
Departamento de Metalurgia

Rte.:



INFORMACION PERSONAL

NOMBRE

DIRECCION POSTAL

EMPRESA O INSTITUCION

TITULO Y CARGO EN LA EMPRESA

PRESENTARA TRABAJO

SI   
NO

- Ingeniería de Procesos
- Desarrollo
- Investigación Básica y Aplicada
- Enseñanza de la Ingeniería Metalúrgica
- Energía, Economía y Transferencia de Tecnología

## TEMARIO GENERAL

## TOPICOS DE INTERES

A. METALURGIA EXTRACTIVA  
Preparación Mecánica y Concentración  
de Minerales

Hidrometalurgia

Pirometalurgia

Siderurgia y Reducción Directa

Electrometalurgia

Otros (Especifique)

B. METALURGIA ADAPTIVA  
Fundición y Solidificación

Soldadura

Aceros y Tratamientos Térmicos

Conformado de Metales

Ejemplos Mecánicos y Control

Otros (Especifique)

FECHA

## NORMA N° 1: PRESENTACION DE RESUMENES

En lo general, los trabajos que se presenten al Primer Congreso Nacional de Metalurgia deben cumplir las siguientes condiciones:

- Ser inéditos tanto en Chile como en el extranjero.
- Resumir los resultados y conclusiones de una investigación o estudio original que versen sobre materias específicas contenidas en el temario del Congreso.
- Ser trabajos ya finalizados y completos, y no informes preliminares sobre estudios o investigaciones cuya parte principal se realizará a futuro.
- Ser presentados en español, inglés o portugués.
- Cada resumen deberá presentarse en 200 a 300 palabras en forma clara y explícita. En él deberán aparecer los objetivos del trabajo, los métodos usados, un resumen de los resultados, y las conclusiones más importantes. El texto debe escribirse en sólo una hoja del formulario estandard diseñado para esos fines. Para efectos de mecanograffía, utilice todo el espacio desde el margen izquierdo hasta el derecho, y desde el margen superior hasta el inferior. Se recomienda dactilografiar cuidadosamente el resumen, de preferencia con una máquina de escribir eléctrica y esfera estandard Delegate N° 10. Para facilitar el logro de este objetivo es muy conveniente practicar previamente la dactilografía del resumen de 16 x 17 cm., en otro papel, antes de emplear el formulario que aquí se adjunta. Se acepta el uso de abreviaturas estandard.
- El resumen junto a 2 copias (xerox o con papel carbón) deberá ser enviado a:  
CONAMET 79  
Departamento de Metalurgia  
Facultad de Ingeniería  
Universidad Técnica del Estado  
Casilla 10233  
Santiago Chile
- El plazo final de recepción es el 29 de junio.
- Los autores serán notificados antes del 30 de julio de la aceptación de su trabajo.

# notas breves

## INAUGURACION DE MODERNA BIBLIOTECA



Con asistencia del Presidente de la República, General Augusto Pinochet Ugarte, quien efectuó por tercera vez una visita a la Universidad Técnica del Estado, se inauguró la Biblioteca Central de la Corporación. El edificio, una moderna construcción de 4.950 metros cuadrados y distribuidos en tres plantas, cuenta con 170.000 volúmenes y una capacidad de atención de aproximadamente 1.000 lectores, y constituyéndose así, en la segunda biblioteca en su género en el país.

La solemne ceremonia incluyó en su parte culminante el discurso pronunciado por el Rector, Ingeniero Eugenio Reyes T., quien ofreció un amplio y preciso análisis de la realidad universitaria nacional y sus proyecciones en el marco de la Directiva Presidencial sobre Educación. Puntualizó el Rector Reyes que "la carencia de una ley general sobre universidades ha sido superada por primera vez en la historia de Chile, por la Directiva Presidencial del 2 de mayo del presente año".

El acto incluyó también la bendición del local, el corte de la cinta tricolor por el Primer Mandatario y un recorrido de las autoridades e invitados por las dependencias. Entre las personalidades asistentes destacó el Ministro de Educación, Sr. Gonzalo Vial, además de diplomáticos y otras autoridades.

## REUNION CON EXPERTOS DE ZAIRE

**U**n intenso plan de actividades desarrollaron los enviados especiales del Presidente de Zaire, Lukusa Muengula y Umba Kiamibala. Los expertos zaireños sostuvieron varias reuniones de trabajo con ejecutivos de la Comisión Chilena del Cobre y otras autoridades nacionales, donde se expusieron distintos puntos de vista acerca de la comercialización y tecnología del cobre.

Entre las diversas reuniones realizadas, destacó un ampliado con representantes de las principales universidades del país, para conocer los planes y programas que ellas

ofrecen en el campo de la minería y metalurgia. En esta última actividad también participaron representantes de la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica, CONICYT.

En esa oportunidad, la Universidad Técnica del Estado presentó a través de sus Departamentos de Metalurgia y Minas, un completo plan de capacitación profesional orientado a la ejecución, supervisión y control de operaciones de concentración, beneficio de minerales y procesos hidro y pirometalúrgicos.

### NUEVA LITERATURA SOBRE MOLIBDENO

**R**ecientemente fue publicado el primer volumen de la "INTERNATIONAL MOLYBDENUM ENCYCLOPEDIA", obra que en su primera parte cubre el área de Recursos y Producción relacionada con la minería y metalurgia del molibdeno. Editado por Alexander Sutulov, el texto entrega a lo largo de sus capítulos, escritos por destacados especialistas, una completa información sobre todos los yacimientos importantes de ese metal, incluyendo los de cobre porfíricos. Contiene además, una detallada descripción de todas las plantas que recuperan molibdeno, tanto en forma primaria como en forma de subproducto, con un listado completo de sus diagramas de flujo, de procesos aplicados y también del balance metalúrgico. Incluye entre sus capítulos más destacados, "Molibdenum Porphyries", "Copper Porphyries", "Chilean Resources", "Chuquicamata", "El Teniente", y otros que cubren ampliamente la mineralogía y geoquímica del molibdeno.

### PROYECTOS DE INVESTIGACION

**E**l Departamento de Metalurgia ha programado para el presente año la realización de 13 proyectos de investigación en Metalurgia Extractiva y Metalurgia Física. La formulación de dichos proyectos ante la Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad Técnica del Estado, involucra una inversión equivalente a aproximadamente US\$ 45.000, que serán destinados a compras nacionales así como también a importación de nuevos equipos y materiales fungibles.

La nómina de proyectos es la siguiente:

- Tostación Sulfatante de Concentrados de Cobre. Prof. J. Rauld.
- Formación de Ferritas durante la Tuesta Sulfatante. Prof. J. Rauld.
- Medición de Parámetros de Transporte de Productos Pirometalúrgicos. Prof. M. Solar.
- Distribución del Tiempo de Residencia de la Fase Sólida en un Reactor Metalúrgico de Lecho Fluidizado Continuo. Prof. M. Solar.
- Precipitación de Cobre con Hidrógeno. Prof. M. Dides.
- Determinación del Diagrama Ternario  $\text{MoO}_3-\text{H}_2\text{O}-\text{NH}_3$ . Prof. M. Dides.
- Estudios sobre Problemas Energéticos y Refractarios en Pirometalurgia del Cobre. Prof. N. Santander.
- Estudio de Parámetros de Electro Obtención en una Celda Electrolítica. Prof. A. Meléndez.
- Reducción de Minerales de Hierro con Reductor Sólido en Horno Rotatorio. Prof. R. Bustamante.
- Influencia de la Velocidad de Enfriamiento sobre la Estructura de Colada de la Aleación Cu-Al Eutectoide. Prof. B. Schulz.
- Estudio Metalúrgico de la Soldadura de Aceros CAP y de Aceros Importados de uso Frecuente en el País. Prof. C. Muñoz.
- Estudio de la Solidificación del Sistema Cu-Al. Prof. C. Muñoz.
- Solidificación Experimental de Lingotes de Cobre y sus Aleaciones. Prof. W. Gulachetti.
- Estudio Estructural de las Magnetitas de "El Laco". Prof. J. Garín.

## EQUIPAMIENTO METALOGRAFICO

Un nuevo y moderno equipamiento metalográfico recibió el Laboratorio de Metalografía de nuestro Departamento. Se trata en esta oportunidad de un microscopio Leitz METALLUX 2, que cuenta entre sus componentes principales con una cámara modular para microfotografía, iluminador OPAK para diferentes condiciones de trabajo, dispositivo de polarización y microescleróscopio. El instrumento, valorizado en US\$ 8.000, facilitará las actividades de investigación que se llevan a cabo en el campo de la metalurgia física.

## CURSOS DE CAPACITACION PARA ENAMI-PAIPOTE

Un amplio programa de cursos de perfeccionamiento profesional para ingenieros de la fundición Paipote de ENAMI, fue convenido entre nuestro Departamento y la sección Capacitación de esa planta. Los cursos, a realizarse durante el presente año, se detallan a continuación:

- Termodinámica de Soluciones Metalúrgicas. Prof. J. Rauld.
- Equilibrio Heterogéneo. Prof. N. Santander
- Fenómenos de Transporte. Prof. M. Solar.
- Mecánica de Fluidos. Prof. M. Dides.
- Cinética Metalúrgica. Prof. M. Solar.
- Transmisión del Calor Prof. R. Bustamante.
- Pirometalurgia del Cobre. Prof. N. Santander.
- Cinética de la Fusión y Conversión. Prof. M. Solar.
- Introducción a la Combustión. Prof. J. Rauld.
- Físico Química de Refractarios. Prof. N. Santander.

## PROFESORES BECADOS

Próximamente viajará al extranjero el profesor Sr. Washington Guiachetti V., quien ha obtenido una beca a través del Proyecto Multinacional de Metalurgia de la Organización de Estados Americanos (O.E.A.), para realizar estudios de graduados conducentes al doctorado. El Sr. Guiachetti llevará a cabo sus estudios en la Universidad Nacional del Sur Argentina, y su trabajo experimental lo efectuará bajo la supervisión del Ing. Heraldo Biloni, en los laboratorios de la Comisión Nacional de Energía Atómica en Buenos Aires. El tema que abordará el postulante versa sobre "Solidificación a Alta Velocidad de Aleaciones de Aluminio" tópico que se considera de gran importancia en la tecnología moderna, toda vez que por medio de altas velocidades de solidificación se obtienen propiedades físicas y



W. Guiachetti V.



R. Bustamante M.

mecánicas de las aleaciones, superiores a las conseguidas por métodos convencionales.

Por otra parte, el Prof. Sr René Bustamante M. rindió exitosamente el examen de grado como último requisito para optar al Grado de Master en Ciencias de la Ingeniería Metalúrgica y de Materiales. El Sr

Bustamante realizó sus estudios de graduados en la Universidad Federal de Río de Janeiro, bajo el marco académico de la "Coordinación de Programas de Post Grado en Ingeniería" (COPPE). El trabajo de tesis fue la Determinación de Parámetros Cinéticos en la Reducción Parcial de Hematita y Magnetita.



## PROYECTO MULTINACIONAL DE METALURGIA O.E.A.

Con promisorios resultados se llevaron a cabo las actividades de investigación programadas para el año 1978, en el marco del Proyecto Multinacional de Metalurgia de la O.E.A. Como es sabido, en julio de 1976, la Universidad Técnica del Estado se incorporó, por medio de su Departamento de Metalurgia, al consorcio de Universidades que integran el Proyecto en Chile. A través de esa asociación, las universidades definieron las áreas específicas a desarrollar, correspondiéndole a nuestra Unidad Académica los tópicos de solidificación de metales y transformaciones de fases en el estado sólido.

Entre las principales actividades realizadas, destacan los trabajos sobre "Solidificación Experimental en Lingotes de Aleación Cu-12% Al", "Medición e Influencia de la Rugosidad de la Superficie de los Moldes sobre la Fluidez", "Aplicaciones de la Metalografía al Estudio de la Solidificación", "Diagrama de Enfriamiento Continuo de la

## PRACTICAS DE VACACIONES

Treinta estudiantes de las carreras de Ingeniería Civil y de Ejecución en Metalurgia, realizaron sus prácticas de vacaciones en diversas empresas de la industria metal-mecánica, cumpliendo así con un requisito fundamental de su formación profesional, como lo es el valioso contacto que se inicia con el sector productivo.

A través de estas líneas deseamos expresar nuestros agradecimientos a las siguientes empresas, con cuya desinteresada y noble colaboración a la enseñanza superior ha sido posible ofrecer a nuestros estudiantes una visión objetiva de su futuro medio de trabajo:

CODELCO Chile  
División Chuquicamata  
Salvador Potrerillos  
Andina  
El Teniente  
Empresa Nacional de Minería  
Compañía Minera Disputada de Las Condes S.A.  
Empresa Minera de Mantos Blancos S.A.  
Compañía de Acero del Pacífico S.A.  
Kupfer Hnos. S.A.  
Centro de Investigación Minera y Metalúrgica  
Ferrocarriles del Estado  
Compañía Tecnó Industrial S.A.  
Metalúrgica Ossa Ltda.  
Manufacturas de Cobre S.A.

Aleación Cu-12% Al" y "Estudio del Sistema Rheocasting en Aleaciones de Aluminio". Cabe destacar también la participación que le cupo al especialista argentino Dr. Jorge Kittl, quien como profesor visitante condujo algunas etapas de las investigaciones, así como también impartió varios cursos de especialización a nivel de post-grado. Durante el presente año se continuará con la ejecución de los trabajos de investigación señalados, aplicados fundamentalmente al aluminio, al cobre y

a las aleaciones de esos dos metales.

Para el bienio 1980-81 el Departamento presentó, por medio del Director del Proyecto, Dr. Bernd Schulz E., una nueva formulación de las actividades pertinentes, con el objetivo principal de continuar apoyando el desarrollo de la capacidad de investigación de esta Unidad, y generar paralelamente a ello, mejores posibilidades de ofrecer al sector productivo un eficiente apoyo a través de asistencia técnica especializada.

## INGRESO ESTUDIANTIL

Nuevos 144 estudiantes ingresaron a la carrera de Ingeniería Metalúrgica, previa postulación a través de la Prueba de Aptitud Académica. 68 de ellos comenzarán sus estudios durante el primer semestre del presente año, mientras que el resto lo hará a partir del mes de agosto próximo. Entre los futuros ingenieros destaca la presencia de diez damas, quienes demuestran así con entusiasmo que el mundo de los metales requiere entre otras características profesionales, no sólo de fuerza y destreza física, sino que también de delicadeza y precisión.

Incluyendo los ingresos mencionados, el Departamento cuenta con un total de 350 alumnos en la carrera de Ingeniería de Ejecución y 50 en la carrera de Ingeniería Civil. Durante el año 1978 se titularon 26 Ingenieros de Ejecución y 7 Ingenieros Civiles, con una gran variedad de trabajos experimentales que cubrieron tópicos de metalurgia extractiva y metalurgia adaptiva.

## ESTUDIO DE GRADUADOS EN METALURGIA

Se encuentra en tramitación el Decreto que regula los estudios a nivel de graduados, conducentes al grado de Master en Ciencias de la Ingeniería Metalúrgica, que se impartirá en este Departamento a contar del segundo semestre del presente año. El programa considera, fundamentalmente, la necesidad de preparar personal académico altamente calificado, cuya formación se base en su mayor parte en la realización de investigación básica y/o aplicada en los diferentes tópicos que integran el campo de la metalurgia.

Se ofrecerá mayor información al respecto, a través de los canales normales de difusión, cuando las gestiones legales se encuentren realizadas.

## CURSOS DE POST-GRADO

A principios del mes de abril se inició el Segundo Curso sobre Determinación de Estructuras Cristalinas por Difracción de Rayos X, dictado a nivel de graduados por los profesores Dr. Juan Costamagna y Dr. Jorge Garín. Se planteó como objetivo principal, presentar los elementos de teoría y práctica suficientes para la adquisición de un conocimiento introductorio en el manejo de técnicas de investigación y análisis de estructuras cristalinas. El curso, que ha sido aceptado como requisito para los programas de graduados de la U.T.E. tendrá una duración de

un semestre con 90 horas de clases asignadas a teoría y laboratorio.

Por otra parte, el profesor Dr. Nelson Santander M. dicta durante el presente semestre un curso intensivo sobre Alemán Técnico para Metalurgistas, orientado a los estudiantes de los últimos niveles y demás colegas del Departamento. El objetivo final del curso es lograr que al término del semestre cada participante quede capacitado para poder traducir literatura técnica y científica escrita en el idioma alemán.

### *A nuestros patrocinadores:*

*Queremos dejar constancia de nuestros sinceros agradecimientos a cada uno de los patrocinadores de esta sexta edición, por su contribución, que ha hecho posible la continuidad de la revista.*

*Confiados en seguir contando con este valioso apoyo nos es grato informarles que CONTACTO N° 7 aparecerá el mes de octubre, días antes de la inauguración del "Primer Congreso Nacional de Metalurgia"*

# nuestra producción gráfica significa rentabilidad...

porque  
brindamos  
responsabilidad  
bajo costo  
y  
alta calidad  
en sistema offset



## Taller Gráfico UTE.

Fanor Velasco 38  
teléfono 87393, Santiago.



FABRICACION CHILENA

Fabricación de Polvos Metálicos  
no Ferrosos por Atomización  
y Electrolíticos

Bujes Autolubricados



## talmet s.a.

- Válvulas de fierro fundido gris para usos industriales, gas, agua, vapor, etc.
- Diámetros desde 50 mm hasta 1200 mm para bajas y altas presiones.
- Piezas especiales de conexión para redes.
- Fundición mecanizada de fierro.
- Fierro fundido gris de alta resistencia según normas ASTM 126 clase B y otras aleaciones para diferentes usos.
- Fierro nodular.

TALLERES METALURGICOS CHILE S.A.

Alvarez de Toledo 764 – Fono 511  
SAN MIGUEL – SANTIAGO



## METALOGRAMA COMPACTO N° 1

POR: JARAFA

	TAU	CONQUISTO	AVERSIÓN	SACAR EL X	NOMBRE FEM. PL.	JUEGO DE NAIPES	300 m. TON Cu AL AÑO	INTERJECCIÓN	SACERDOTE GALO	INVENTOR	BURRO REVUELTO	MEJOR OBSERVATORIO AUSTRAL	ARTE EN COBRE
PESETA ABREV.	OBRA*	OBJETIVO VARIA BLE	RIO SUS CO	Y				REEM- PLAZO					
REACTOR METALLUR ICO.													
ELEM. N° 53					TONTO YODO	UNTER MALA							
AIRE SANTIA GUINO.				TEUTON	UNITED	ENQUO							
LUGAR* DE TRABAJO CPE		TOMA MATE	REDONDA FIREMAN				SE		METAL LIVIANO	RIO NOR TEND			
CANTAN TE							ROPE MENTO		FIN DE MASCAR				
INDI VISIBLE										MOSCIA			
FAMOSA BATALLA				ENCONTR TO	CENTRO ART. RIA						NAZON	CLUB DE LEJAD*	
MAL HERMA NO				CUBA		REACTO FLOTAC ION						CANAL CASA	
FOTO EN 2 DIMENS.	Aut.P			REBANO		DATIVO		ATORN		ARTERIA -A			LETRA SANS
AMOR SINGU LAR			DE TRI EJOS (S ENO)	VODO		*	GIGANTE VENCIDO BEISDA DE LAS S		STATE AL ARQUE SO				FRINCE SA
MONE DA			AMAZURE	ODO	INTER					JUNTA		CLUB	
											**		

\* Relacionado con el gran investigador metalúrgico

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	C	H	U	Q	I	C	A		M
2	A	U	G	U	R	A	I		A
3	L	A	B	I	E	C		R	T
4	E	S	I	L	A		V	A	A
5	T	C	F	A		C	E	N	R
6	O	O	E	T		O	N	R	A
7	N	O		E	E		T	O	N
8	E	L	S	O	L	D	A	D	O
9	S	A	M	B	I	A	N	A	S

SOLUCION METALOGRAMA ANTERIOR

MANUFACTURERA  
DE  
METALES



## GARIBALDI S.A.

La primera en zunchos y flejes de acero y en la línea de zunchos plásticos.

GARIBALDI S.A. ES UNA INDUSTRIA CHILENA QUE APLICA TECNOLOGIA DE NIVEL INTERNACIONAL EN LA MANUFACTURA DE SUS PRODUCTOS.

EN SU NUEVO DEPARTAMENTO AGROINDUSTRIAL ATIENDE EL EMBALAJE TOTAL DE LOS PRODUCTOS DE LA AGROINDUSTRIA DE EXPORTACION PERMITIENDO LLEGAR A LOS DIVERSOS MERCADOS DE CONSUMO EN OPTIMAS CONDICIONES.

*"PROTEGER LA INDUSTRIA NACIONAL EFICIENTE ES EL PRINCIPIO DE NUESTRA VERDADERA INDEPENDENCIA ECONOMICA"*

MANUFACTURERA DE METALES  
GARIBALDI S.A.  
El Molino 1835 (Vivaceta alt. 1100)  
Casilla 915 - Fonos 377898 - 771323.

### CLARK

CLARK INTERNATIONAL MARKETING S.A.  
Gruas hidráulicas y mecánicas.



CIARRAPICO HNOS. S.A.I.C.  
Ventiladores industriales.



LINCOLN ELECTRIC  
Soldadoras

**TRW Mission**  
MISSION MANUFACTURING CO.  
Bombas, valvulas, martillos, brocas

### LOCKWOOD

LOCKWOOD Y CIA. S.A.I.C.  
Plantas para tratamientos agua.



PHOENIX ENGINEERING CO. LTD.  
Esparcidores gravilla, asfalto



J.C.B. SALES LTD.  
Excavadores, palas, cargadores.



GARDNER-DENVER COMPANY  
GARDNER-DENVER CO.  
Equipos de perforación y aire comprimido.



**Parker  
Plant**  
FREDERIK PARKER LTD.  
Chancadoras y plantas asfálticas.



DRESSER INDUSTRIES, INC.  
Uniones, medidores.

### Blaw Knox Limited

BLAW KNOX LTD.  
Pavimentación asfáltica.

### DYNAPAC

DYNAPAC  
Vibradores y compactación.

Consultenos en todo lo relacionado  
a Equipos de Minería, Construcción  
e Industria.

Servicio Técnico y Repuestos  
DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO



**MAURICIO HOCHSCHILD S.A.I.C.**

Agustinas 1360, Teléfono 82816,  
SANTIAGO, VIÑA DEL MAR Y  
ANTOFAGASTA.

# Donde está el hombre está el acero.

La Compañía de Acero del Pacífico, consciente de que prácticamente en todas las actividades contemporáneas está presente el acero, ha incorporado

en su elaboración la más avanzada tecnología mundial. Porque el acero forja progreso para el hombre. La CAP lo produce cada vez con mayor calidad.



# CAP

COMPAÑIA DE ACERO DEL PACIFICO S.A.

**LA MEJOR VISION PRODUCTIVA DE CHILE.**