



CONTACTO

REVISTA DEL DEPARTAMENTO DE METALURGIA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL ESTADO - FACULTAD DE INGENIERIA

NOVIEMBRE 1979

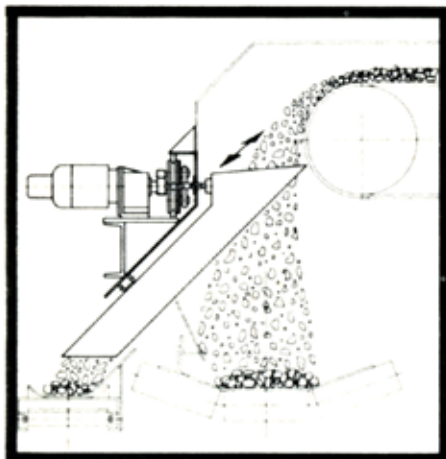
Nº 7



CONAMET '79

1er CONGRESO NACIONAL DE METALURGIA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL ESTADO - FAC. DE INGENIERIA - DEPTO. DE METALURGIA - SANTIAGO, CHILE



- Centrífugas
- Filtros
- Secadores
- Hidrociclones
- Dosificadores
- Lavadores
- Tomador y preparador automático de muestras
- Equipos de Laboratorio
- Pesadoras de precisión
- Pesadoras de cintas transportadoras
- Revestimiento contra desgaste
- Trituradoras de minerales
- Acoplamiento hidráulicos
- Bombas para material abrasivo

ODDOY Y CIA. LTDA.

PHILLIPS 40 — OF. 47 — TELEFONO 36903 — CASILLA 85 — D — SANTIAGO DE CHILE



talmat s.a.

- Válvulas de hierro 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 hierro.
- Hierro fundido gris de alta resistencia según normas ASTM 126 clase B y otras aleaciones para diferentes usos.
- Hierro nodular.

TALLERES METALURGICOS CHILE S.A.

**Alvarez de Toledo 764 — Fono 511403
SAN MIGUEL — SANTIAGO**



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

EDITORIAL

A pocos días de iniciarse el Primer Congreso Nacional de Metalurgia, un balance de las acciones previamente programadas permite asegurar que ellas se han materializado en estrecho sincronismo con las metas perseguidas en cada una de las etapas de organización del evento.

La Universidad Técnica del Estado, conocedora de la real importancia que significa difundir al más alto nivel profesional el conocimiento superior, base fundamental del desarrollo científico y tecnológico alcanzado, ha otorgado su alto auspicio para la óptima realización del Congreso, la que sin lugar a dudas, será avalada por la calidad de los participantes así como también de los temas a ser expuestos. En efecto, más de cincuenta trabajos de especialización en el campo de los metales, han sido comprometidos para su presentación durante las sesiones técnicas. Los tópicos cubrirán un amplio espectro de aplicaciones, desde la etapa muy inicial que constituye el tratamiento de los minerales, hasta los procesos que conducen a la forma final del metal. Se espera así, a través de las exposiciones de excelencia técnica y científica, estrechar la integración de los profesionales metalúrgicos, y promover el intercambio de información y de investigación aplicada al sector productivo.

Especial realce aportarán a las jornadas los distintos profesores y expertos extranjeros, quienes reconocieron taxativamente la calidad de aquellas, al comprometer tempranamente su valiosa participación.

Es grato reconocer que la realización del Congreso será posible, en gran parte, gracias al alto patrocinio ofrecido por las principales instituciones y empresas metalúrgicas del país, quienes al así hacerlo, permiten a la Universidad alcanzar la real dimensión que en su noble afán de servir a la sociedad le corresponde, proyectándose hacia la Empresa en forma cada vez más creciente.

A través de CONTACTO, la Universidad Técnica del Estado expresa a todos los participantes en este Primer Congreso Nacional de Metalurgia, la más cordial bienvenida y los deseos de éxito en la actividad a realizar.





CONTACTO

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

REVISTA CONTACTO

Departamento de Metalurgia

Nº 7 NOVIEMBRE 1979

Director:

Ing. Raúl Ramírez Salas

Comité de Redacción:

Ing. Jaime Rauld F.

Dr. Marco Solar B.

Ing. Raúl Ramírez S.

Colaboran en esta Edición:

Contralmirante

Carlos Quiñones L.

Dr. Jorge Garín C.

Dr. Arturo Meléndez I.

Dr. Nelson Santander M.

M. Sc. Hugo Levy S.

Dr. Bernd Schulz E.

M. Sc. René Bustamante M.

Ing. Israel Murgas de la Paz

Ing. Fernando Díaz J.

Prof. Sergio Prenafeta J.

Sr. Juan Valencia

Ing. Jaime Rauld F.

Secretarías:

Sra. Verónica Wartemberg O.

Sra. Marta González G.

Fotógrafo:

Adrián Orrego B.

Representante Legal y Director del

Departamento de Metalurgia:

Dr. Jorge Garín Córdova

Diagramación:

Eugenio Santiago G.

Composición e Impresión:

Talleres Gráficos U.T.E.

Fanor Velasco 38



CONTACTO

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



Nuestra Portada:

Logotipos del Primer Congreso Nacional de Metalurgia

SUMARIO

HAY RAZONES PARA TENER OPTIMISMO EN EL FUTURO DEL COBRE CHILENO.	3
FORJADORES DE UNA NUEVA CIENCIA. HENRY C. SORBY	7
LOS REFRACTARIOS ALQUITRANADOS.	12
PROYECTAR LA INGENIERIA DEL PROXIMO DECENIO.	20
LOS RAYOS X, UN DESCUBRIMIENTO TRASCENDENTAL.	25
REDUCCION DIRECTA.	35
CONTROL DE CALIDAD	39
UNA REVISION DE LOS NUEVOS PROCESOS UNITARIOS EN LA METALURGIA EXTRACTIVA.	43
INFRAESTRUCTURA DE APOYO TECNICO A LA INVESTIGACION Y AL DESARROLLO EXPERIMENTAL EN LAS UNIVERSIDADES CHILENAS	53
MARTENSITA EN ALEACIONES BINARIAS BASE METALES NOBLES.	57
INTERCAMBIO TECNOLOGICO.	62
CONAMET '79.	63
NOTAS BREVES	66
METALOGRAMA	72

EL CONTENIDO DE LOS ARTICULOS ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DE LOS SEÑORES COLABORADORES

Ministro de Minería:

HAY RAZONES PARA TENER OPTIMISMO EN EL FUTURO DEL COBRE CHILENO

□ Las inversiones entre 1979-90 sobrepasarán los diez mil millones de dólares, para una producción de 2.5 millones de toneladas anuales.

□ Para 1980 se necesita graduar por lo mínimo 700 nuevos ingenieros civiles. La demanda de estos profesionales se duplicará en breve.



Contralmirante Carlos Quiñones López
M. Sc. en Arquitectura e Ingeniería Naval

El Ministro de Minería, Contralmirante Carlos Quiñones López, inauguró el 16 de julio, con una interesante conferencia, el Simposio organizado por el Departamento de Minas de la Facultad de Ingeniería de la UTE. Los conceptos que siguen son parte de dicha alocución.

Creo conveniente mencionar algo acerca de la importancia del sector minero dentro de la Economía Nacional, y referirme a los objetivos y contenido de la política minera del Gobierno, y a los aspectos más importantes de cada uno de los subsectores que conforman esta actividad en nuestro país.

En relación al primer punto, permítanme mencionar solamente las siguientes cifras e índices:

Del total de nuestro Producto Geográfico Bruto, que en 1978 alcanzó a 11.425 millones de dólares, el 22% fue de exportaciones, correspondiendo a productos mineros el 57% de ellas. El cobre como nuestro principal producto contribuyó a las exportaciones con 1.420 millones de dólares.

El Gobierno, consciente de la importancia de este sector ha definido un conjunto de políticas y medidas tendientes a optimizar el valor de la producción minera y, como consecuencia, la riqueza y bienestar de toda la nación.

Algunas de estas políticas se refieren al incentivo de la inversión extranjera en nuevos proyectos. Hacia eso apuntan, una apropiada legislación tributaria, arancelaria, de retornos y laboral, acompañadas de una adecuada información, respecto a las zonas geográficas de mayor potencial minero.

En relación a las empresas del Estado, o con participación mayoritaria de éste, la política está orientada a maximizar el grado de eficiencia económica de cada una de estas unidades.

En términos generales, dado que Chile tiene ventajas comparativas naturales en minería en relación a otros países, un objetivo claro es, a lo menos mantener y en lo posible, aumentar su participación en la producción mundial de minerales, en la medida que se vaya demostrando

que dichas ventajas naturales se reflejen en una ventaja económica.

El tercer punto, vale decir los aspectos importantes de cada subsector nos permitirán formarnos una idea de la evolución y porvenir minero de nuestro país.

GRAVITACION DEL COBRE

En relación al subsector minería del cobre, podemos apreciar un crecimiento sostenido en la producción y comercialización de este metal. En efecto, el volumen de 1978, el cual fue de un millón 36.000 toneladas, comparado con el de diez años atrás, que fue de 657.000 toneladas, es un 580% mayor. El análisis de cifras estadísticas de un período mayor a diez años, nos permite también inferir que en prácticamente todos los períodos, el incremento fue positivo en relación al anterior.

La otra variable importante en la operación del cobre, es su precio. Es bien sabido que el precio del cobre ha estado muy deprimido en los últimos años, sin embargo, la situación futura se visualiza en forma optimista. Obviamente que incrementos en el precio implican reactivación y crecimiento de la industria toda.

HIERRO, SALITRE, CARBON

Por otra parte, en el subsector hierro, podemos mencionar que, la recesión mundial ocurrida durante los años 1975 y 76 afectó seriamente a esta actividad, y la producción del país debió disminuir a niveles inferiores a las ocho millones de toneladas anuales. Sin embargo, el panorama se visualiza hoy más claro y los planes contemplan alcanzar producciones de 9,5 millones de toneladas para 1983.



En lo que respecta al salitre, debe destacarse que, a pesar de los problemas ampliamente conocidos que afectaron a esta industria, en la actualidad se están llevando a cabo interesantes estudios destinados a lograr un alto grado de modernización, readecuación y producción de otros rubros de esta industria. Entre éstos, es interesante destacar los estudios para explotación de litio, potasio y boro en el Salar de Atacama y el proyecto Pampa Piscis, para evaluar la alternativa de instalar unidades productoras de salitre con técnicas modernas.

En lo relacionado con el carbón, se puede mencionar que esta actividad se encuentra dirigiendo su acción al desarrollo de nuevos recursos. Al respecto, las políticas están orientadas a evaluar los yacimientos de Arauco, Lebu y Magallanes. Además, se está analizando la conveniencia de emplear estos carbones en la generación de electricidad o como combustible industrial. Finalmente, se centrará la atención en el avance tecnológico en licuación o gasificación de carbones.

PETROLEO

En lo que respecta al petróleo, la acción emprendida por ENAP es de gran envergadura. A los éxitos alcanzados en los programas de exploración en la zona del Estrecho de Magallanes, deben agregarse los Contratos de Operación Costa Afuera en Chiloé con empresas petroleras extranjeras. De ser positivas estas exploraciones, cabe esperar que el país pueda alcanzar un alto grado de autoabastecimiento de hidrocarburos en un futuro no lejano.

RECURSOS HUMANOS E INVERSIONES

Dada la importancia del cobre dentro del sector minero del país, quiero referirme a las Perspectivas Ocupacionales en ese subsector y abordar especialmente el mercado ocupacional de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y de otras especialidades dentro de la Ingeniería Civil.

En el futuro, este tipo de profesionales será requerido por



dos conceptos: para la ingeniería de proyectos de las nuevas inversiones, y para la operación de los actuales y nuevos proyectos.

En cuanto a los actuales proyectos de inversión, lo más significativo se refiere a los que está realizando CODELCO-Chile. Las inversiones de esta empresa han venido creciendo en los últimos años hasta alcanzar en la actualidad cifras cercanas a los 200 millones de dólares anuales, lo cual, en principio, permitiría mantener en forma aproximada los niveles vigentes de producción.

Además, dado el gran volumen y calidad de las reservas que el Estado posee en los yacimientos de la Gran Minería, el Gobierno ha iniciado el análisis de la factibilidad económica destinada a incrementar sustancialmente la producción proveniente de estos yacimientos. Para esto, en una primera aproximación, es posible plantear el estudio de inversiones que pueden alcanzar sumas superiores a 5.000 millones de dólares en el período 1979-1990, sin contar los proyectos ya aprobados por el Co-

mité de Inversiones Extranjeras, que más adelante se detallan.

Como inversión privada, nacional y extranjera, se encuentran actualmente en desarrollo, en distinto grado de avance, siete proyectos. Ellos son: Andacollo, Quebrada Blanca, Disputada, Pelambres, El Abra, Cerro Colorado y Lo Aguirre. El total de inversiones requerido en estos proyectos es del orden de 3.600 millones de dólares. Su resultado será una mayor producción de cobre fino la que, incrementándose paulatinamente, se espera llegue a 600.000 toneladas adicionales en 1987.

Se realizan estudios para alcanzar una producción de 2 a 2,5 millones de toneladas en 1990, dependiendo del comportamiento del consumo y del precio del cobre.

Sumando las proyecciones de inversión normales del sector público, —CODELCO-Chile y ENAMI— con las del sector privado, se estima que para los próximos 10 años se requerirá una cifra total de inversiones de 10 mil millones de dólares para lograr el aumento sustancial de

producción mencionado anteriormente.

Partiendo de la proporción normal que en esta clase de inversiones corresponde asignar al empleo de ingenieros, se puede estimar que las necesidades hombre-año debieran ser de 700 ingenieros para 1980, aumentando proporcionalmente el requerimiento hasta doblar ese número en 1983.

A este respecto, cabe hacer dos alcances: primero, este cálculo se refiere sólo a las inversiones normales del sector estatal más los siete proyectos de inversión privada, anteriormente señalados, y segundo, estas cifras se refieren a requerimientos de ingenieros civiles de todas las especialidades, y para todas las etapas de los proyectos, vale decir, factibilidad, ingeniería básica, ingeniería general y de detalles. Estimaciones adicionales permiten concluir que de estas cifras, aproximadamente el 150% corresponde a ingenieros civiles de minas y metalurgistas.

Como se puede apreciar en un lapso relativamente breve de tiempo, la demanda de ingenieros debiera duplicarse, por los nuevos proyectos de inversión de la minería del cobre.

OFERTA Y DEMANDA

Adicionalmente, debemos considerar la demanda posterior de ingeniería para la operación misma de estos proyectos. La variable que mejor explica el número de profesionales requerido es el volumen de operación. Al respecto, se podría asegurar que, para 1987 se espera llegar al millón y medio de toneladas de cobre fino, lo que implica un 500% de aumento en términos de producción.

Aun cuando no se tienen cifras exactas de la mayor demanda de profesionales, por los incrementos de operación, indudablemente que esta expansión del

500/o debiera traducirse en una consecuente necesidad de profesionales.

Como ustedes podrán apreciar hasta el momento, en esta exposición sólo nos hemos referido a la "demanda" de profesionales para la minería.

Debemos pensar ahora, en la "oferta". Cabe preguntarse ¿cómo se encuentra la oferta? ¿están las universidades preparadas para responder a este aumento esperado en la demanda?

Al respecto, solamente quiero plantear esta inquietud.

En mi opinión, tres son las características que debe cumplir la futura oferta de profesionales en la minería. Estas son: cantidad, calidad y oportunidad.

En efecto, las empresas nacionales o extranjeras, públicas o privadas, si no encontraran estas tres características en la oferta interna, necesariamente deberán recurrir a la oferta extranjera y, obviamente, ello sería frustrante e irreal.

Frustrante para toda aquella juventud que siente vocación y cariño por la especialidad. Irreal, porque el grado de intelectualidad de nuestro pueblo está, con creces, en condiciones de responder a estos requerimientos, y porque nuestras universidades cuentan, o deben contar, con los

medios para encauzar las inquietudes de esa juventud.

Se advierte, entonces, la necesidad urgente de planificar en los niveles que corresponda, la preparación de estos profesionales para la minería, en concordancia con la demanda que, en este mismo momento, se está generando.

Una sola mirada al volumen de los recursos naturales del sector es justificación más que suficiente para hacerlo, y desde ya, porque su plazo no se mide en decenios, sino en años, y muy próximos.

Para lograr lo anterior en forma racional, creo que es necesario proyectar para el corto y mediano plazo, tanto la demanda de profesionales como la oferta de los mismos para toda la minería.

Puedo anticipar que, como Ministro del sector he dispuesto que la Comisión Chilena del Cobre, organismo técnico y altamente calificado, realice un estudio y me proponga alternativas de solución al respecto.

Creo, sin embargo, que este esfuerzo debe ser compartido por todas las instituciones y organismos interesados. Es aquí donde las universidades tienen una mayor responsabilidad, debiendo conocer cabalmente la

industria minera nuestra y, dentro de ella, todos sus subsectores. Una estrecha relación universidad-industria se hace necesaria, así como también el reforzar las actuales infraestructuras materiales y humanas que se requieran para la formación de profesionales para el sector minero.

Espero que, como uno de los resultados de este Simposio Académico, las inquietudes, que al respecto se han materializado en documentos e información difundidos en otros eventos de esta naturaleza, dejen de ser hechos aislados, al contar con el apoyo decidido que el Gobierno desea darles, y que yo —desde este momento— pongo al entero servicio de su consecución.

Creo también importante destacar que, si bien en los últimos años, en general, la actividad minera estuvo deprimida, las proyecciones de su crecimiento futuro permiten vislumbrar un importante desarrollo, de tal modo que no es un exceso de optimismo instar a la juventud a integrarse con entusiasmo y seguridad a las profesiones relacionadas con este sector. Más aún, para el bien de la nación toda, creo que esto último es indispensable.



**CONTRIBUCION
DEL CENTRO DE INGENIEROS DE EJECUCION
ENAMI — VENTANAS**

CASILLA Nº 709 — VIÑA DEL MAR
FONO 113 ANEXO 288 QUINTERO

FORJADORES DE UNA NUEVA CIENCIA

HENRY C. SORBY,

PADRE DE LA METALOGRAFIA



Bernd Schulz Eglin

Ingeniero Civil Metalurgista
Dr. (Ph.D.) en Metalurgia y
Ciencia de Materiales
Prof. Jornada Completa
Departamento de Metalurgia

Henry Clifton Sorby nació en la vecindad de Sheffield (Inglaterra) en 1826, fue un brillante investigador aficionado con financiamiento propio procedente de la industria de cuchillería, perteneciente a su familia ya por varias generaciones. Poseedor de estos medios nunca buscó ni tuvo empleo profesional, eligió su propia variedad de líneas de trabajo, a las cuales dedicó todo su tiempo y bastante de su peculio.

Después de finalizar la enseñanza en la escuela de Sheffield, se educó mediante clases particulares en Matemáticas, Óptica, Química, Anatomía, Biología, Mineralogía y Geología. Desde temprana edad adquirió renombre como Mineralogista y Geólogo, aunque sus primeras publicaciones, ya a los 20 años, fueron en Química de la Agricultura. Su hogar durante toda su vida fue en la vecindad



de Sheffield, donde residió como un prominente ciudadano por muchos años. Nunca se casó y fuera de sus brillantes descubrimientos científicos, su vida transcurrió apaciblemente.

A través de su amistad con Williams Crawford Williamson (1816-95), otro científico bastante versátil, posteriormente médico y cirujano, aprendió la técnica de preparar secciones delgadas de material duro, dientes, hueso, escamas de pescado y también madera fosilizada para su examen microscópico por luz transmitida. En 1849 Sorby empezó a aplicar esta técnica, perfeccionada por él mismo, para el estudio de las rocas. En 1851 la Sociedad Geológica publicó la primera descripción del examen microscópico de secciones de rocas, trabajo que presentó en el encuentro de noviembre de 1850 sobre la estructura de red calcárea. A esa temprana edad, tenía 24 años, había prácticamente perfeccionado los métodos incluyendo el uso de grandes aumentos y de luz polarizada. Sus cortes preparados laboriosamente por desbaste pulido y montaje en vidrios eran de 0.03 mm. de espesor, fundando así el método de estudiar rocas, microscópicamente usado aún hoy en día en Petrografía. Pero por algún tiempo, los métodos de Sorby y sus observaciones, "estudiar montañas con microscopio", como lo dijo un prominente geólogo de aquella época, se encontraron con hostilidad y ridiculización, afortunadamente sin afectarlo a él ni a su trabajo. Curiosamente sus trabajos tuvieron mayor reconocimiento en Europa continental que en Inglaterra. Mientras estaba de vacaciones en Alemania conoció en 1862 a Ferdinand Zirkel, estudiante de minas, con el cual efectuó excursiones geológicas y a quien enseñó sus métodos microscópicos. Zirkel adoptó entusiásticamente las ideas de Sorby y dedicó el resto de su vida exitosamente al estudio de la estructura de las rocas.



El joven investigador Sorby

El interés de Sorby en la microestructura de rocas lo condujo al trabajo en meteoritos y éste a su vez al estudio microscópico del hierro y acero, esto último con el fin de entender la estructura de los meteoritos. La Universidad de Sheffield tiene su detallado diario, que se extiende por sobre 50 años, e indica que sus exámenes microscópicos del hierro y acero comenzaron en 1863. Presentó una charla sobre este trabajo a su audiencia favorita, la Sociedad Filosófica y Literaria de Sheffield en primavera de 1864, y una conferencia titulada "Fotografías Microscópicas del Hierro y Acero" a la Asociación Británica, mostrando varias fotomicrografías. Sólo se publicó un corto resumen y la conferencia despertó poco interés. Publicó completamente su técnica de pulido, ataque y observación para metales en el libro de Beale en 1868 titulado "Cómo trabajar con el microscopio". Con ayuda de un fotógrafo profesional tomó microfotografías a bajos aumentos (9 veces) de sus secciones pulidas de hierro y acero en 1864, pero éstas no fueron reproducidas hasta 1883 en Estados Unidos y en Inglaterra en 1887 (en el Journal of the Iron and Steel Institute).

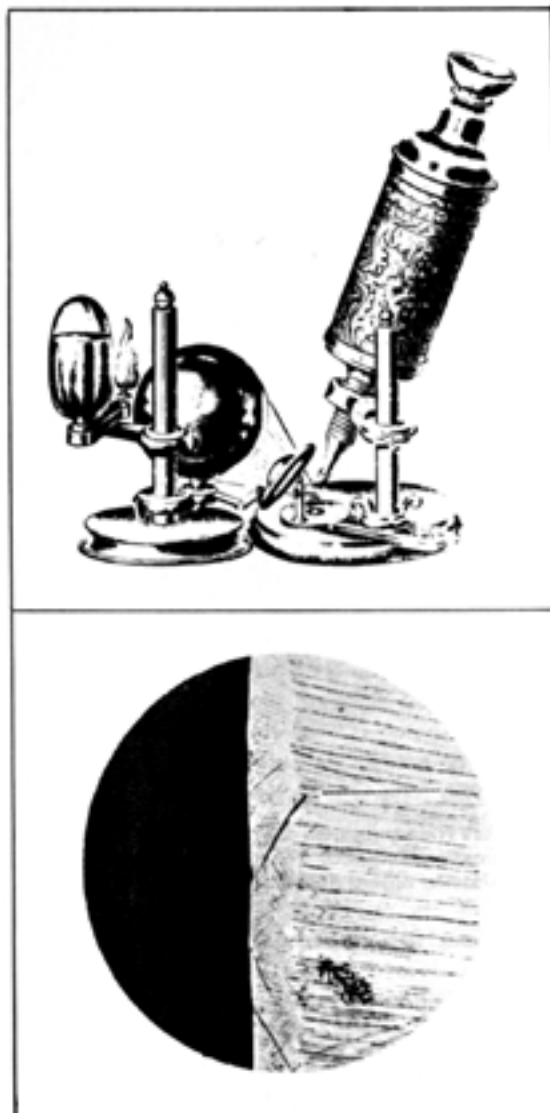
Aún así por varios años los metalurgistas ingleses mostraron poco interés por este trabajo y Sorby dedicó su atención a la zoología marina. Debido a un trabajo posterior de Adolph Martens y de Wedding en Alemania y Floris Osmond en Francia, el interés de Sorby fue estimulado una vez más y en 1882 estuvo nuevamente dando conferencias sobre el trabajo que efectuó 20 años antes. Aún más adelante, la metalografía seguía siendo un tema aparentemente "poco práctico". En 1891 el profesor Arnold tuvo que dedicar toda una sesión del encuentro de la Sociedad de Ingenieros y Metalurgistas de Sheffield a una descripción detallada de la preparación de probetas metalográficas, con el objeto de ganar adeptos para aprender esta técnica.

Sorby no fue el primero en analizar una superficie metálica bajo el microscopio*, o aún más, una superficie pulida y atacada**, pero fue el primero en hacer un estudio sistemático del modo en el cual se modifica la estructura con la composición, tratamiento térmico, proceso de fabricación y llegar a apreciar que una preparación incorrecta de la superficie puede conducir a resultados equívocos. Por estas razones, se le reconoce como padre de la metalografía.

Distinto a varios de los investigadores que siguieron a él, Sorby no se contentaba con dar sólo una cuidadosa descripción de sus observaciones metalográficas; es típico de él, el intento de

* Robert Hooke: "Micrografía" 1665, Londres.

** P. Anosow en Rusia, 1841.



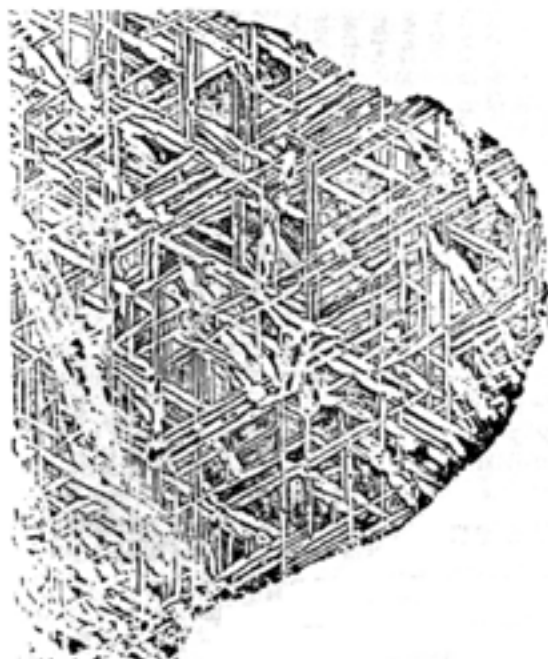
a) Microscopio utilizado por Robert Hooke.
b) Dibujo de una observación al filo de la navaja de afeitar, efectuado por Hooke.

explicar y considerar sus implicancias. El no sólo reconoció seis bien definidos "constituyentes" en aceros, sino que se dio cuenta cómo estos podrían ser responsables de las propiedades observadas. Por observación del modo como cambia la microestructura después de varios tratamientos llegó a comprender la naturaleza de la decarburización, de la grafitización de la fundición blanca, recristalización en soldadura al enfriar desde altas temperaturas y el recocido después de la deformación en frío. Reconoció el estado de deformación en frío como uno de equilibrio inestable, como lo dicen sus propias palabras: "...cuando las partículas están distorsionadas deben encontrarse en un

estado de equilibrio inestable y podemos entender entonces por qué la recristalización ocurre tan fácilmente cuando las circunstancias son tales para permitir que las partículas se reacomoden a un estado de equilibrio estable. Me parece que éste es un principio general de gran importancia en conexión con las propiedades mecánicas del hierro trabajado, que probablemente a menudo no se toma en cuenta"

Sobre fatiga de metales escribió en 1887:

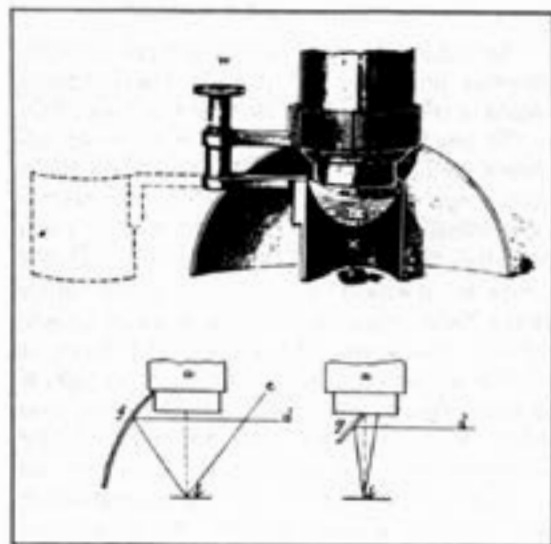
"Se supuso en algún tiempo que por vibración continua una barra del llamado hierro fibroso, llegaba a cristalizar. Para verificar esta suposición, se fijó una barra a un martillo de tal modo que vibrara continuamente por 15 horas hasta que se quebró con una fractura cristalina. Una sección longitudinal del pedazo quebrado mostró que la estructura no era más cristalina que la de un hierro similar en su estado natural, pero al mismo tiempo parece haber adquirido en algunas partes características interesantes... En vez de estar todos los cristales en estrecho contacto entre sí en todo su rededor, algunos aparecían como levemente separados. Así, me parece, que podemos entender fácilmente por qué la vibración y flexión que produce fuerzas que en ningún caso son suficientes para quebrar la barra de una vez, pero sí son capaces de separar primero un cristal y luego otro, en los puntos en que la deformación es máxima,



Reproducción por impresión de una superficie pulida y atacada de un meteorito con estructura de Widmannstätten (meteorito examinado por Alays Beck von Widmannstätten (1753-1849) Director del gabinete de Productos Fabriles del Gobierno de Australia).

hasta que la estructura llega a estar tan desorganizada que se produce la fractura”.

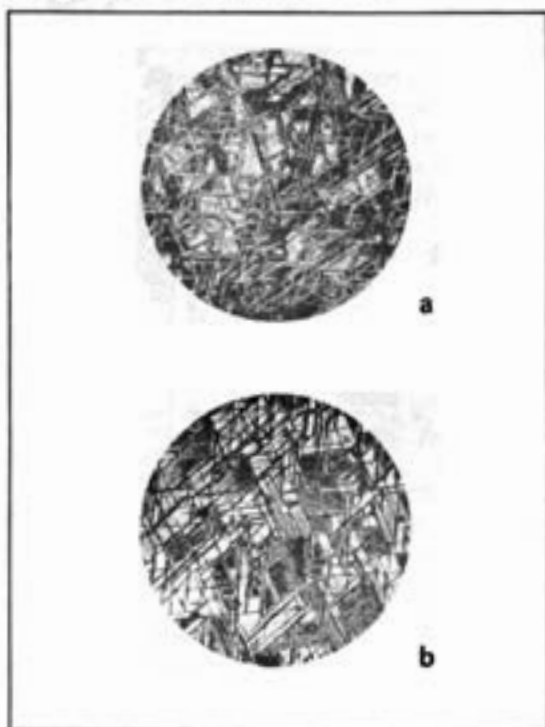
Sorby se preguntó si la famosa figura de Widmannstätten, observada en meteoritos, puede también encontrarse en aceros. Tal como registró en su diario, observó lo que creyó ser la figura de Widmannstätten el 28 de julio de 1863, considerándose entonces que aquel fue el día en el cual nació la metalografía moderna.



Microscopio con iluminación oblicua de reflector parabólico diseñado por Sorby.

Los primeros trabajos de Sorby los hizo con aumentos visuales de hasta 200 y encontró que en casi todos los casos un aumento de 50 mostraba en menor escala, tanto como a 200. Esto lo hizo concluir que había visto todo lo posible en estructura. Dedicó mucha atención a lo que llamó, el “constituyente aperlado”. Si se observa con iluminación oblicua producto de un reflector parabólico de su propio diseño, este constituyente tenía la apariencia de la más fina madreperla. Sorby se dio cuenta que el constituyente aperlado era de hecho una mezcla y de sus características ópticas dedujo que tenía una estructura laminar fina. Cuando en 1885 obtuvo aumentos de hasta 650 con iluminación vertical diseñado por Beck llegó a apreciar las ventajas del alto aumento, ya que fue capaz de ver cosas que antes se mantenían ocultas a sus ojos y, en particular, llegó a resolver la estructura del constituyente aperlado. Este constituyente es conocido hoy en día como perlita, aunque la apariencia aperlada raramente es observada por los modernos metalógrafos debido al uso de la iluminación vertical y a aumentos suficientemente altos como para resolver las láminas. Sorby concluyó correctamente que las láminas

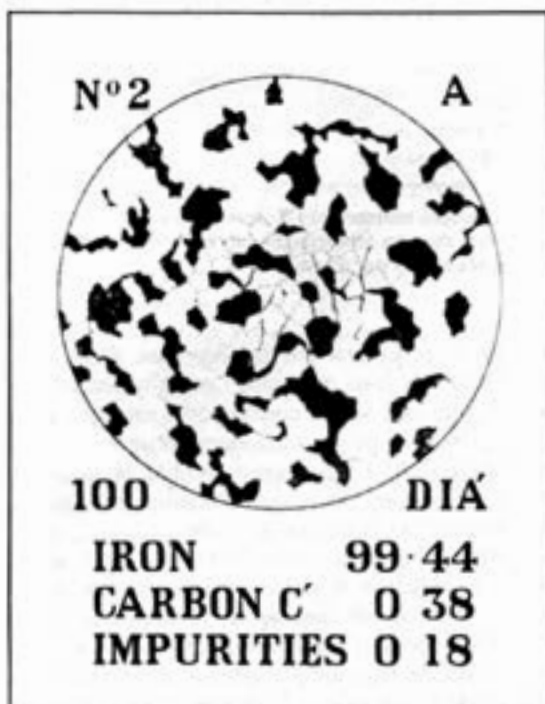
más blandas consistían esencialmente de hierro puro y el duro de carburo de hierro.



Estructura Widmannstätten con

a) Iluminación oblicua

b) Iluminación vertical 10x



Estructura metalográfica dibujada por Arnold.

En 1864 Sorby fotografió algunas de sus microestructuras y las usó más adelante en su publicación en 1887, pero el método estaba limitado a muy bajos aumentos y no hay registro de los que vio a más altos aumentos. Aun para mostrar la estructura de acero de lingote Bessemer a 27 aumentos, Sorby reprodujo un dibujo en vez de fotografía y no hay duda que los primeros metalógrafos tenían que tener una cierta habilidad de dibujante si deseaban registrar sus observaciones. Una colección interesante de dibujos de microestructuras a altos aumentos fueron reproducidas por Arnold (primer profesor de metalurgia en Firth College de Sheffield, 1886) en una publicación sobre la influencia del carbono sobre el hierro en 1896. El escribió:

"Las estructuras fueron todas dibujadas desde el microscopio, en caso necesario se usó el micrómetro con sus correspondientes círculos graduados. Después los dibujos eran reducidos fotográficamente al tamaño del campo microscópico. El trabajo necesario para hacer este proceso era laborioso, pero los resultados mostraban la estructura con una precisión imposible de obtener por fotografía directa"

Después de 1879, su yate llegó a ser su hogar por los meses de verano, cada año, pero era un laboratorio flotante, en el cual Sorby efectuaba incansablemente sus investigaciones, a menudo microscópicas de una sorprendente variedad, geológicas, biológicas, meteorológicas, etc. En adición a sus estudios, condiciones y objetos naturales en estuarios de varias partes de la costa inglesa, se dedicó a trabajos originales en arqueología, arte antiguo, arquitectura y antiguos materiales de construcción. Incluso estudió jeroglíficos egipcios con su usual dedicación. Problemas de drenaje en el estuario del Támesis lo mantuvieron ocupado la mayor parte del año 1882 en conexión con la Comisión Real de Desagüe de Londres y su habilidad microscópica y experiencia condujeron a resultados prácticos valiosos.

Sorby se mostró muy interesado en la educación, especialmente en mejorar los recursos para la educación científica y técnica en su ciudad natal. En 1862 fue activo miembro de un pequeño grupo de ciudadanos en Sheffield, que sin éxito iniciaron una escuela técnica. Cuando se estableció el Firth College en 1879, fue miembro del directorio y Rector del College desde 1882 a 1897. La Facultad Tecnológica, con su nuevo edificio llegó a ser una importante parte de ella.

Las conferencias populares llegaron a ser un evento importante en el Firth College por muchos años y Sorby, una vez más, mostró su versatilidad al dar en 1890 una titulada "Arte Pictórico en la Inglaterra Pre-Normánica" Este

College y otras escuelas asociadas de educación superior fueron amalgamadas en una Escuela Universitaria, de la cual Sorby fue vicepresidente desde 1897 a 1905 que a su vez se transformó en la Universidad de Sheffield en 1905, siendo Sorby un miembro de su Consejo Superior hasta su muerte en 1905.

Sorby era de carácter sencillo y afable que inspiraba afecto en sus muchos amigos, sus marineros y sirvientes. Su más extraordinaria característica personal fue su dedicación a la ciencia con el más fructífero entusiasmo y excepcional ingeniosidad mecánica y poderoso intelecto. Por mucho tiempo de su vida fue un líder de la ciencia en Sheffield, donde la Universidad, la industria del acero y la ciudad lo consideró con máximos honores. Algunos años antes de su muerte dijo: "Toda mi vida ha sido dedicada, ya sea a la investigación científica o a la preparación de ella".



Sorby en su estudio de trabajo.

BIBLIOGRAFIA:

- Metallurgy 1963 Special Report 80, The iron and Steel Institute, 1964, England.
- Richard Pusch, Practical Metallography, enero 1979, p. 26.

LOS REFRACTARIOS ALQUITRANADOS

Charla Técnica presentada por el Profesor
Dr. Nelson Santander M.
en CAP - HUACHIPATO con ocasión de la dictación
del curso sobre Refractarios a los Supervisores
de la Usina, el jueves 30 de agosto de 1979.

Dr. Ing. Nelson Santander
Profesor Jornada Completa
del Departamento de Metalurgia
de la U.T.E.



1.- INTRODUCCION

La aplicación de refractarios alquitranados en Metalurgia no es algo muy novedoso, sólo es que la tecnología de aceración al oxígeno le ha dado un auge inusitado a partir de la 2ª mitad del presente siglo.

En Chile, el uso de refractarios alquitranados adquiere especial significación, desde la introducción de los convertidores al oxígeno (llamados en forma criolla "conox") en la usina de Huachipato en 1976. (1) Por su parte los metalurgistas cupreros también han venido usando algunas prácticas rudimentarias de alquitranado de pisos de hornos de refino. Este año la Refinería de Ventanas ha sido pionera al emplear por vez primera ladrillos de magnesita impregnados en alquitrán, en la solera de los hornos de refino tipo reverbero.

La inquietud por conocer más a nivel científico este tipo de refractarios ha llegado también a la Universidad, concretamente, en el Departamento de Metalurgia de la Facultad de Ingeniería de la UTE, donde, con la colaboración de la Fundación de Caletones se llevó a cabo un primer estudio de aplicación de alquitranados en a industria cuprera en 1977 (2)

Históricamente el uso de ladrillos básicos alquitranados se remonta a la innovación propuesta por Thomas en Inglaterra en 1879. (3) Es hoy un hecho reconocido que la introducción de la dolomita alquitranada como revestimiento de las "peras" Bessemer dio paso a una nueva era en la Siderurgia. Luego de imponerse el refractario básico en las "peras" Bessemer, ganó terreno en los hornos de solera abierta y en los hornos eléctricos de arco.

Hoy, el principal equipo de aceración, es el convertidor al oxígeno y él a su vez es el más importante horno metalúrgico en el cual se utilizan los refractarios alquitranados, por ello, en el presente trabajo se tomará como referencia de aplicación precisamente el convertidor de acero al oxígeno.

2.- MATERIAS PRIMAS

En principio, puede alquitranarse cualquier material refractario que no contenga compuestos reducibles por el carbón en el rango de temperaturas de trabajo. Esta limitación de partida excluye los refractarios que contienen mineral de cromo, y todos aquellos que contienen apreciable cantidad de óxidos de hierro. Pese a con-

tener óxido de hierro, se alquitranan los refractarios de magnesita mineral, aunque sí debe contarse con un efecto de reducción parcial de este óxido. No se alquitranan comercialmente los ladrillos de cromo-magnesita, de magnesita-cromo, de cromita, ni los de sílice. En cucharas torpedo y de alto horno se emplean ladrillos silicoaluminosos alquitranados. (4)

En la práctica, los ladrillos que más comúnmente se alquitranan son los de dolomita, de magnesita, y de mezclas de ellas, clinquerizadas o no. Se ve entonces, que desde el punto de vista químico se trata aquí de mezclas de MgO y CaO en composiciones variadas por lo cual es útil considerar primeramente el diagrama de equilibrio $MgO-CaO$ mostrado en la Figura 1. (5)

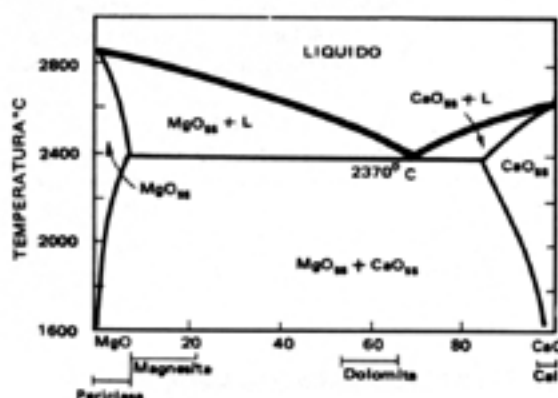


Fig. 1: Diagrama de fases $MgO-CaO$ (5)

Se tiene aquí un sistema binario de simple eutéctico, sin formación de compuestos intermedios, y con pequeños rangos de soluciones sólidas en los extremos. La cal y la magnesita pura son altamente refractarias, así como también sus mezclas eutécticas ($E = 2370^{\circ}C$), lo que junto con ser estos materiales muy básicos, nos justifica el hecho que los refractarios del sistema $MgO-CaO$ son en la práctica los más resistentes frente a las escorias que se generan en los convertidores al oxígeno.

En lo que sigue se analizarán en particular los 2 tipos principales de materias primas que se alquitranan: las magnesitas y las dolomitas.

(i) MAGNESITAS

Usaremos el término "magnesita" en lugar de "magnesia" (6) para todo material refractario muy rico en MgO . Conviene sin embargo hacer una distinción entre las magnesitas sintéticas y las magnesitas naturales. A las primeras se les designará como PERICLASAS y a las segundas

se les designará como MAGNESITAS propiamente tales. En todo caso, en ambas, el óxido de magnesio se encuentra cristalizado con la estructura cúbica de la periclase. La principal diferencia es que en el material sintético no aparecen precipitados intragranulares como ocurre en el material proveniente de minas.

PERICLASA: Tal como lo ilustra la Figura 1, se ha reservado el rango de las periclasas para aquellas magnesias ricas (digamos con un máximo $\sim 8\%$ de impurezas), y se obtienen artificialmente mediante tratamiento químico de agua de mar o de salmueras, lo que origina hidróxido de magnesio que precipita en forma muy fina. La pulpa que contiene este hidróxido se espesa y se seca. El hidróxido ya seco se calienta a $\sim 1700-2200^{\circ}C$ para obtener así granos densos de MgO . Es usual hacer un precalcinado y briqueteo antes del calcinado final.

En el beneficio de ciertas fuentes de magnesita natural ($MgCO_3$), o de brucita ($Mg(OH)_2$) puede obtenerse también un producto suficientemente puro como para considerarlo químicamente comparable a los obtenidos artificialmente, por ello estos productos también se considerarán como periclasas.

MAGNESITA: este término designa aquellas variedades de MgO impuros (con más de 8 a 10% de impurezas) obtenidos al calcinar a elevada temperatura la magnesita mineral y la brucita mineral. Las magnesitas generalmente tienen contenidos mayores de Fe_2O_3 , dándoles el óxido de hierro una coloración cafésosa. Ambos óxidos se combinan con el MgO para formar los espinelos $MgO-Fe_2O_3$ y $MgO-Al_2O_3$, siempre que la relación en peso entre CaO y SiO_2 no supere el 1,86%, ya que de lo contrario se compromete la formación de silicatos calcio-magnésicos.

(ii) DOLOMITAS

Se designa como dolomita al mineral $MgCO_3 \cdot CaCO_3$, y el grano cristalino obtenido al calcinar este mineral a elevada temperatura se llama doloma. Sin embargo, en la práctica la dolomita calcinada se designa brevemente como dolomita. (6)

El material calcinado es una mezcla mecánica de MgO y CaO con lo cual la cal libre hace a este material muy poco resistente a la hidratación. Para compensar este efecto pueden emplearse adiciones de Fe_2O_3 o de SiO_2 (que originan $CaO-Fe_2O_3$ y $2CaO-SiO_2$, respectivamente) y también con técnicas adecuadas de manufactura que aumenten los tamaños de granos y disminuyan la porosidad de éstos.

(iii) ALQUITRAN

En la literatura (7) se emplean dos palabras técnicas para designar las dos variedades más importantes de alquitranes que se usan como ligantes en el campo de los refractarios:

— Tar (en inglés), o Teer (en alemán), para lo que en español se designa como alquitrán.

Pitch (en inglés), o Pech (en alemán), para lo que en español se llama brea.

Sin embargo, la línea divisoria entre estos dos tipos de alquitranes es bastante arbitraria. En el Reino Unido, por ejemplo, se definen como alquitranes aquellos que tienen un punto de ablandamiento R & B (Ring and Ball) bajo los 45°C, y breas, aquellos materiales con un punto de ablandamiento sobre los 45°C.

Los alquitranes usados en la industria de refractarios se obtienen principalmente como subproducto de la destilación destructiva de carbón bituminoso.

Las principales características exigidas a los alquitranes empleados como ligantes en la industria de refractarios son las siguientes:

a) La viscosidad del alquitrán es una de las propiedades más importantes que deben conocerse. En el caso de mezclar el alquitrán con el material refractario previamente al prensado de ladrillos, interesa que el ligante sea suficientemente fluido como para empapar completamente los granos. En el caso de ladrillos impregnados en alquitrán, éste debe ser suficientemente fluido como para escurrir sin dificultad hacia los poros del ladrillo ya sinterizado.

Al calentar un horno revestido con ladrillos impregnados en alquitrán, el ligante pierde viscosidad a medida que sube la temperatura alcanzando un mínimo en las cercanías de 350°C. Luego vuelve a aumentar la viscosidad al subir la temperatura debido a la pérdida de volátiles y a la polimerización del ligante. Se llega así a una temperatura del orden de 500°C en que ocurre la coquificación del ligante.

b) El alquitrán debe tener una composición química tal que asegure un contenido mínimo de volátiles de modo de generar poco humo en la manufactura, y de permitir una pérdida gradual de volátiles durante el horneado del ladrillo o durante el calentamiento de la albañilería. Además, debe contener una mínima cantidad de partículas sólidas (en suspensión). Para la caracterización de los alquitranes es una práctica muy común usar análisis mediante solventes. Entre éstos los más usados son: petróleo liviano, nitrobenzono, benceno y quinolina (particularmente los dos últimos). Las

partes del alquitrán que son insolubles en benceno o en quinolina permiten formarse una idea de la cantidad de puntos de nucleación disponibles para promover la deposición y la retención del carbono. El resultado del análisis por solventes se evalúa por el rendimiento que da la extracción al usar el solvente dado, y se expresa en forma práctica como insolubilidad baja o alta en tal o cual solvente.

c) El alquitrán debe originar un máximo contenido de carbono depositado en el ladrillo, bajo las condiciones de uso de éste. Aunque hay algunas diferencias de opinión en torno al nivel deseado de carbón residual que quede en los ladrillos puede decirse que en general, si hay muy poco carbón, éste se quema muy rápido, pero si hay demasiado, se originan burbujas en la superficie del refractario, por ello un nivel de 2 a 3% de carbono residual se considera como satisfactorio.

Una vez que coquiza el ligante a partir de los 500°C, comienza a producirse una unión de granos por la matriz de coque sólido, de allí que se hable de ladrillos "ligados por el alquitrán" (ya coquificado obviamente). Para los efectos de control se han propuesto ensayos en la



FABRICACION CHILENA

**Fabricación de Polvos Metálicos
no Ferrosos por Atomización
y Electrolíticos**

Bujes Autolubricados

ROSAS 3225
CASILLA 5623
FONO 91996

literatura (8) para evaluar el contenido de carbono residual.

La Figura 2 (9) presenta en forma resumida la relación que existe entre las características más importantes de los alquitranes en el rango de ablandamiento de 65 a 125°C.

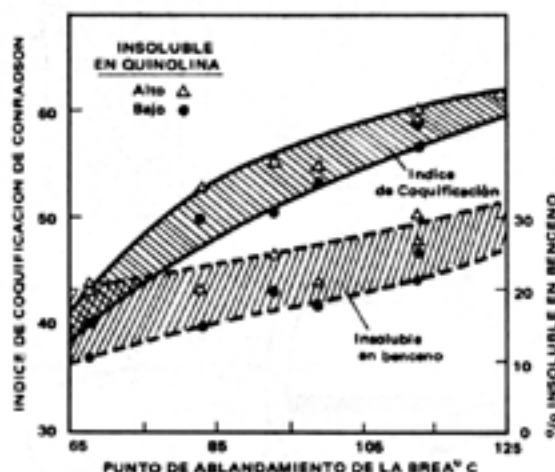


Fig. 2: Relación entre las características de los alquitranes (9)

3.- FABRICACION DE ALQUITRANADOS

En la actualidad existen básicamente 2 técnicas comerciales diferentes de fabricación de ladrillos alquitranados:

- Ladrillos ligados con alquitrán (tar-bonded)
- Ladrillos impregnados en alquitrán (tar-impregnated).

Se han propuesto y/o patentado otras técnicas tales como la deposición de vapor de carbono en el ladrillo (10), pero ellas no han alcanzado aún la relevancia de las 2 técnicas citadas anteriormente.

Cualquiera de ellos puede hacerse a partir de las diversas materias primas refractarias analizadas en el Párrafo 2, o bien con mezclas de ellas. Veamos cada técnica en particular.

(i) LADRILLOS LIGADOS CON ALQUITRAN

La Figura 3 (9) ilustra en forma muy esquemática el diagrama de flujo de una planta que produce ladrillos ligados con alquitrán. De acuerdo a esta modalidad de fabricación, la mezcla de materias primas refractarias calientes y alquitrán líquido se prensa para dar origen a ladrillos que pueden seguir 2 caminos alternativos en su fabricación: a) pueden dejarse enfriar y secarse sin

someterlos a quema posterior o b) pueden someterse a un horneado homogenizador (11) (tempering) a temperaturas de 150 a 350°C. En general, para obtener la máxima densidad de ladrillos y el máximo carbono residual, se usa 5 a 6,7% de alquitrán (en peso).



Fig. 3: Fabricación de Ladrillos Ligados en Alquitrán (4)

El tratamiento térmico de horneado (tempering) ha demostrado ser capaz de mejorar bastante las características de los ladrillos alquitranados. En particular aumenta la resistencia a la compresión a temperatura intermedia, lo que evita posibles fallas de la mampostería durante el calentamiento inicial. En el caso de ladrillos de dolomita, el horneado mejora notablemente la resistencia del ladrillo a la hidratación.

No se conocen los mecanismos exactos del horneado, pero sin duda que el efecto inmediato es una redistribución del alquitrán. Al hornear el alquitrán impregna la mayoría de las porosidades intergranulares e intragranulares y empapa la superficie de los granos refractarios.

(ii) LADRILLOS IMPREGNADOS EN ALQUITRAN

La impregnación de un ladrillo cocido se lleva a cabo forzando el ingreso del alquitrán líquido hacia las porosidades del ladrillo.

La manera más simple de impregnar ladrillos es vaciando alquitrán líquido sobre éstos. Tal práctica tan simple empleó la Refinería de Ventanas antes de comprar ladrillos que vienen alquitranados desde la fábrica. Otra manera simple de impregnar ladrillos consiste en sumergir cada ladrillo en alquitrán líquido (120-300°C). Sin embargo, los fabricantes de refractarios emplean un sistema alternado de vacío y presión de modo de acelerar la velocidad a la cual el alquitrán es forzado a penetrar en los ladrillos. En breve, el proceso consiste en introducir el ladrillo precalentado en un gran recipiente en el que se hace un vacío de ~ 70-90 cm H₂O, durante unos 10 a 30 minutos. Luego se introduce alquitrán líquido (200-260°C)

al recipiente y se somete éste durante 10 a 60 minutos a una presión de 4 a 8 bar con lo cual se fuerza la penetración del alquitrán a las porosidades del ladrillo. La cantidad de alquitrán que absorbe el ladrillo está directamente relacionada con la porosidad inicial del ladrillo. Para un ladrillo cocido corriente con una porosidad de 12 a 22% la cantidad de alquitrán impregnado variará entre 5 y 12%.

La Figura 4 nos presenta a modo de ilustración el flujo de materiales en una planta industrial que fabrica ladrillos impregnados en alquitrán.

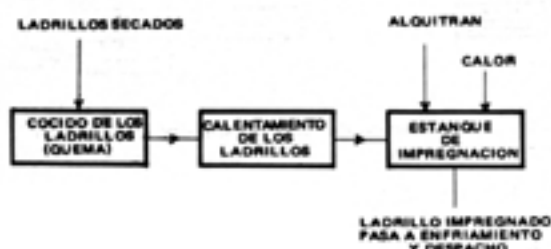


Fig. 4: Fabricación de Ladrillos Impregnados en Alquitrán.

4.- PROPIEDADES

Dado que el proceso de aceración al oxígeno es lejos el que trae consigo los mayores consumos de refractarios alquitránados en el campo industrial, usualmente son las exigencias impuestas por este proceso las que definen las propiedades de los ladrillos alquitránados comerciales. Para formarse una idea de las condiciones que debe soportar un refractario en un convertidor al oxígeno observemos la Figura 5 (9) que nos muestra cómo varían las condiciones según la ubicación del refractario

en el horno, y según la etapa en que se encuentre la operación.

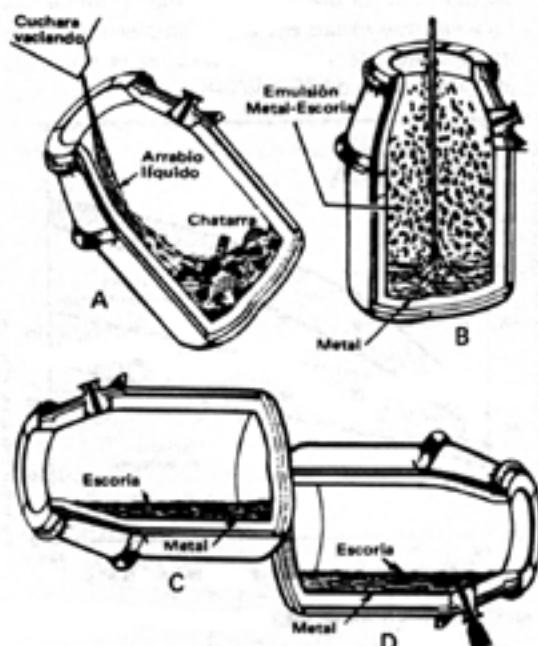


Fig. 5: Operaciones en un convertidor al oxígeno⁽⁹⁾

En A se está procediendo al carguío de chatarra y de arrabio líquido, por ello el lado de carguío del horno se encuentra sometido a abrasión y a erosión. En B, el horno ha sido colocado en posición vertical para llevar a cabo el soplado con oxígeno (99,5 % O_2) mediante una lanza vertical refrigerada que se introduce desde la boca del convertidor. Durante el soplado, el horno está sometido a un efecto combinado de erosión y corrosión debido a una emulsión de metal y escoria que se genera al agitar violentamente el baño metálico. La emulsión cambia periódicamente de composición y de temperatura. Durante esta etapa el fondo del horno se encuentra virtualmente protegido por el baño. La parte cónica (hacia la boca del horno) está sometida a salpicaduras de emulsión, y al choque de partículas sólidas arrastradas por los gases que escapan a gran velocidad. En C el horno ha sido basculado hacia el lado de carguío para permitir muestreos y pirometría. Aquí la escoria toma contacto con el fondo y con ladrillos del cono. En D el horno se ha basculado hacia el lado de vaciado y la escoria toma contacto con una nueva área. Todo lo anterior pone de manifiesto que el desgaste del horno no ocurre en forma pareja, de modo que normalmente se hace un enladrillado compensado (diferentes tipos y espesores de ladrillos) de modo que todas las áreas se gasten al mismo tiempo.

Henkel

HENKEL CORPORATION

Atendemos consultas sobre
EXTRACCION DE METALES
disueltos en soluciones acuosas

Av. Italia 2553 - Fono 230811
Santiago

A modo de ilustración de esto último, la Figura 6 (12) muestra el uso de diferentes materiales refractarios en un convertidor al oxígeno de la Bethlehem Steel Corp.

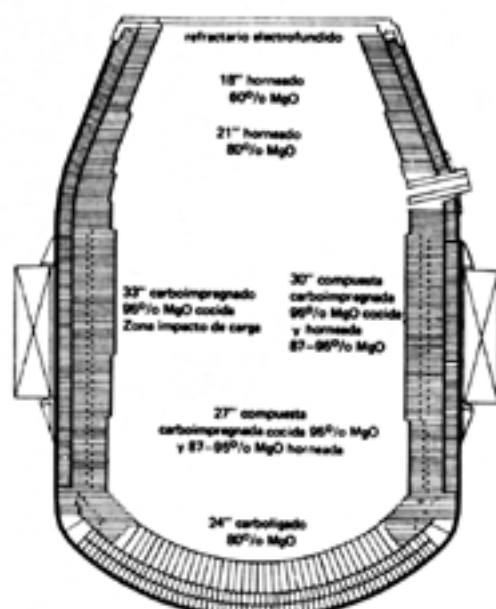


Fig. 6: Enladrillado compensado en un CONOX (12)

Se ve entonces que para estudiar por separado las distintas propiedades es adecuado desglosar las propiedades según los mecanismos de desgaste a la luz de la operación descrita anteriormente, de la siguiente manera:

- Propiedades relacionadas con el spalling originado durante el calentamiento y durante la operación.
- Propiedades relacionadas con la erosión provocada por la escoria.
- Propiedades relacionadas con la abrasión provocada por el impacto de la chatarra cargada.

Los refractaristas asocian normalmente a cada propiedad alguna metodología estandarizada de evaluarla. En otras palabras, existen tests normalizados de evaluación de propiedades. Sin embargo, frente al avance tecnológico siderúrgico, la industria de refractarios se ha visto desafiada a diseñar nuevos tests que reflejen mejor las exigencias cada vez más intensivas impuestas por los nuevos procesos. Por ello, muchos de los tests aún se encuentran en etapa de desarrollo y por lo tanto no han sido normalizados aún. (8)

(i) PROPIEDADES RELATIVAS AL SPALLING

Para calentar una nueva albañilería de un convertidor al oxígeno se introduce coque al horno, el que se quema rápidamente con oxígeno con lo que se calienta rápidamente el refractario (~40°C/min al comienzo, y a 10-40°C/min a partir de los 550°C), con la cual también se queman parte de los volátiles del alquitrán bajo condiciones reductoras. Junto con ello se ha detectado que ocurre una pérdida de la resistencia en caliente del ladrillo a medida que el alquitrán se ablanda y se redistribuye en los granos. En la actualidad mediante tests simulados de calentamiento en el laboratorio se pone en evidencia el agrietamiento de las muestras al calentar. Adicionalmente la operación puede imponer alteraciones cíclicas de la temperatura de la mampostería que eventualmente originan fracturas debidas a fatiga térmica.

Afortunadamente desde la puesta en uso de ladrillos hornados o de ligados en alquitrán, este tipo de spalling ha dejado de ser un problema serio en la industria siderúrgica.

(ii) PROPIEDADES RELATIVAS A LA EROSION POR ESCORIA

Limes (13) sostiene que es precisamente la escoria el factor más preponderante que afecta la vida del refractario de un convertidor al oxígeno. Desafortunadamente la resistencia de un ladrillo al ataque de escorias es una de las propiedades más difíciles de medir por ello, son numerosos los tipos de tests que se han propuesto para evaluar de modo simulado las condiciones de ataque por escoria. Lo que sí es muy claro es que la composición del ladrillo tiene mucha influencia en el desgaste originado por la erosión por escoria.

La Figura 7 (9) muestra valores típicos de erosión obtenidos con ladrillos impregnados y con ladrillos hornados, para diversos contenidos de MgO, en ensayos de escorificación simulada. En

ASINDUS S.A.

TEMPERATURA
FLUJO
ANALISIS

ASESORIA DE INSTRUMENTACION INDUSTRIAL S.A.

AVDA. VICUÑA MACKENNA 204
CASILLA 6055 - TELEFONO 222619

principio puede decirse que la magnesita resiste mejor que la dolomita el ataque por escoria, debido a la interacción de la escoria frente al CaO con respecto al MgO.

Dadas las condiciones dinámicas del proceso, hay una fuerte influencia del fenómeno físico de erosión de los líquidos y sólidos en movimiento, dentro del reactor

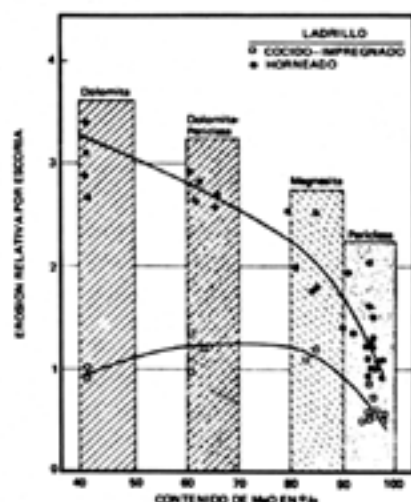


Fig. 7: Erosión por escoria según el contenido de MgO del ladrillo (9)

Lo que ha quedado más en evidencia en los tests de escorificación es la influencia que tiene la cantidad de carbono residual en la resistencia a la erosión. Tanto en ladrillos experimentales como en ladrillos comerciales se observa que al aumentar el contenido de carbono residual decrece el índice de ataque relativo de la escoria.

(iii) PROPIEDADES RELATIVAS A LA ABRASION

En los convertidores al oxígeno, la erosión es provocada por el impacto de la chatarra sólida al ser cargada fría al interior del horno, así como por el impacto del arrabio líquido vaciado en su interior. Durante el soplado se produce además un notorio efecto erosivo por la agitación violenta de los líquidos. Todo esto trae consigo obviamente una seria exigencia en cuanto al módulo de ruptura que presentan los ladrillos en caliente. En efecto, los ensayos de laboratorio indican que dichos módulos se ven drásticamente afectados por las composiciones químicas, ya que ellas afectan directamente las condiciones de formación de fases líquidas. En general, puede decirse que la cantidad de R_2O_3 (B_2O_3 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) debe mantenerse muy baja para minimizar la formación de líquidos a baja temperatura.

Si se recuerda que en los ladrillos ligados por alquitrán el carbono es la fase continua que da la

resistencia a alta temperatura del ladrillo, se ve entonces lo importante que es de disponer de ensayos que entreguen datos acerca del comportamiento de este ligante a elevadas temperaturas. (8) (14).

5.- JUSTIFICACION TEORICA DEL USO DE ALQUITRAN

Es ya un hecho reconocido que el uso de refractarios alquitranados ha reducido las cifras de consumo de refractarios en hornos siderúrgicos. Si en un Siemens-Martin de ~100 t se consumían 20 kg de refractarios no alquitranados por t de acero, hoy en los convertidores al oxígeno se ha llegado a menos de 5 kg/t acero, usando revestimientos alquitranados. (15)

En lo que sigue se hará un breve análisis que permita justificar teóricamente el uso del alquitrán en los refractarios. Para ello utilizaremos dos puntos de vista: el de los fenómenos interfaciales, y el de la reducibilidad.

(i) JUSTIFICACION EN BASE A FENOMENOS INTERFACIALES: esta justificación es posiblemente la más fácil de comprender y de visualizar.

Si se deposita una muestra de escoria en un refractario convencional (no alquitranado), se observa que cuando ésta se funde, se esparce sobre el refractario mojándolo. Este efecto se visualiza claramente en la Figura 8. (9).

Si en lugar del ladrillo convencional se coloca como base un ladrillo alquitranado, el ángulo de contacto θ aumenta considerablemente. El resultado directo de este efecto es que la escoria líquida no tenderá a penetrar a las porosidades de un ladrillo alquitranado, tal como se aprecia en la parte inferior de la Figura 8.

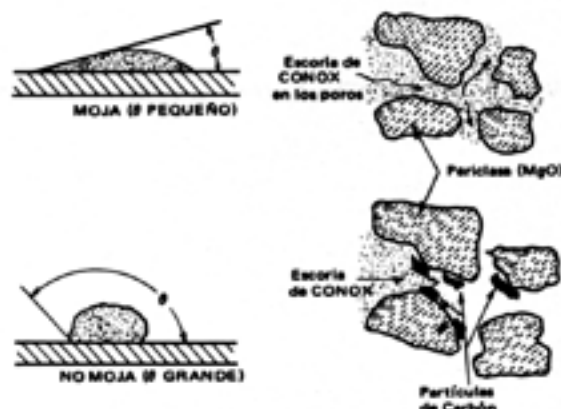


Fig. 8: Efecto del carbón en la Mojabilidad de Ladrillos (9)

Este efecto queda en evidencia en la práctica al observar muestras de ladrillos ya usados en un

horno, ya que la penetración sólo alcanza hasta donde ocurrió la oxidación parcial del carbono contenido en el ladrillo.

- (ii) JUSTIFICACION EN BASE A LA REDUCIBILIDAD: el carbono residual retenido en el ladrillo se mantendrá químicamente estable mientras no se queme. Afortunadamente, y pese a la gran cantidad de oxígeno añadido, la atmósfera del convertidor se mantiene reductora. Condiciones muy diferentes predominan en el horno Siemens-Martin de acero, y en los convertidores Peirce-Smith de Cobre. (16). Sin embargo, al vaciar o cargar un horno caliente la atmósfera cambia de modo que en la práctica ocurre la combustión parcial del carbono del ladrillo. Esta pérdida parcial de carbono se ve aumentada por el efecto reductor que ejerce el carbono sobre los elementos reducibles contenidos en el ladrillo, en particular del óxido de hierro.

Davies (17) sugiere que el efecto del carbono residual frente a la escoria es reducir el FeO a Fe con lo cual disminuye la corrosividad de la escoria. Dicho sea de paso, en general, los metales puros no mojan a los refractarios, pero pequeñas cantidades de oxígeno pueden alterar completamente la mojabilidad.

Es interesante añadir finalmente que estudios recientes (18) han detectado una región de MgO muy densa (y muy delgada) vecina a la superficie del carbono, con lo cual se ha sugerido que el MgO se reduce realmente en la interfase refractario/carbón, pero el vapor de Mg generado se redeposita como MgO densificado en la cara oxidada del refractario.

REFERENCIAS

1. J. Ormeño V., "La Acería de Convertidores Básicos al Oxígeno de la Planta de Huachipato" Revista Ingenieros, Nº 73, pág. 21-27, (1976).
2. U. Rojas F., "Uso de Refractarios Ligados con Alquitrán en Pírorrefinación de Cobre" Tesis Ing. Civil Met., UTE, (1978).
3. J. H. Chesters, "Refractories for Iron and Steel-making" pág. 27-40, VI Congreso Alafar, Salvador, Brasil, (1976).
4. B. H. Baker et al., "Role of Carbon in Steel Plant Refractories" Bull. Am. Ceram. Soc., 55, Nº 7 pág. 649-654, (1976).
5. E. M. Levin et al., "Phase Diagrams for Ceramists" Am. Ceram. Soc., Columbus, Ohio, Fig. 229, (1964).
6. J. H. Chesters, "Men and Magnesite" Met. Trans., 7B, pág. 159-170, (1976).
7. W. D. Betts, "The Use of Tar and Pitches in Refractories for Oxygen Steelmaking" Trans. Brit. Ceram. Soc., 74, pág. 85-90, (1975).
8. P. Artel et al., Radex Rundschau, Nº 3, pág. 224-231, (1977).

9. K. K. Kappmeyer y D. H. Hubble, "Pitch-Bearing MgO-CaO Refractories for the BOP Process" en "High Temperature Oxides (Part I)", A. M. Alper (editor), Academix Press, N. Y., pág. 1-76 (1970).
10. R. C. Bradt, "CVD Carbon Infiltration of a Magnesite Refractory", Bull. Am. Ceram. Soc., 55, Nº 7, pág. 640-642, (1976).
11. F. Hubner y G. Zoglmeir, Radex Rundschau, Nº 4, pág. 204-227, (1974).
12. J. H. Chesters, "Refractories for Iron and Steel-making" Cap. 2 y 4, The Metals Soc., London, (1974).
13. R. W. Limes, "BOF Refractory Experience at Republic Steel and in the U.S.A." Trans. Brit. Ceram. Soc., 74, pág. 97-104, (1975).
14. P. Herbrich y A. Starzacher, Radex Rundschau, Nº 1, pág. 325-335, (1975).
15. K. Konopicky, "Los Refractarios en la Industria Moderna del Acero" en "Seminario Latinoamericano de Refractarios para la Industria Siderúrgica" ILAFA-ALAFAR, México, pág. 13-40, (1971).
16. T. P. Philip, "Converter Metallurgy and Refractory Practice Associated with the Treatment of Polymetallic Matte at Tsumeb South West Africa" paper Nº 489 -11 presentado al Congreso del AIME en Washington 10-20 Feb., (1969).
17. B. Davies, "Desarrollo de Refractarios para Convertidores al Oxígeno en los Estados Unidos" Siderurgia Latinoamericana, Nº 209, pág. 58-63, (1977).
18. R.A. Howe et al., "Attack of a Tar-Bonded Periclase Refractory By a Dolomitic BOF Slag" Industrial Heating, 42 Nº 4, pág. 47-58, (1975).

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

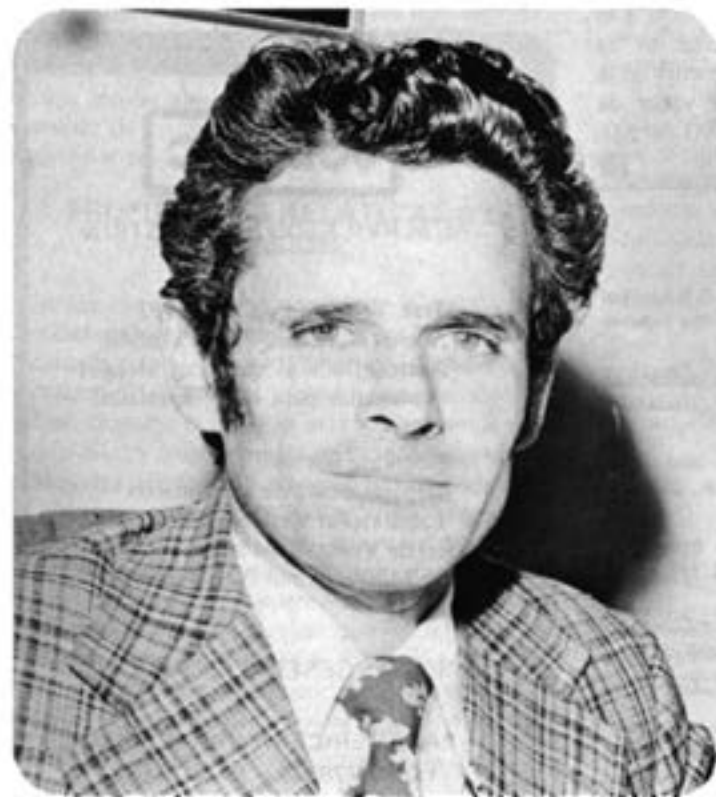
**PANAMERICANA NORTE 3092
FONO 778506 - SANTIAGO.**

Decano Arturo Meléndez:

PROYECTAR LA INGENIERIA DEL PROXIMO DECENIO

□ Nueva planta física para algunos departamentos, progresos en el postgrado y acercamiento a la asistencia internacional, en las metas para 1980.

□ "La carrera de Técnico que ofrece la Escuela Tecnológica no debe tener carácter universitario"



Decano Arturo Meléndez Infante.



Sergio Prenafeta Jenkin

El tema de la vinculación universidad-empresa va siendo cada vez más un interés pragmático de mayorías. No sólo se habla sino que se concreta más, al mismo tiempo que se discute y proyecta en torno al problema. La Universidad Técnica del Estado, a través de su Facultad de Ingeniería, ha dado pasos concretos para establecer puentes permanentes y de beneficio mutuo entre la cátedra, el laboratorio universitario y la industria, el comercio, el artesanado, la banca y la empresa pública y privada.

Se busca establecer una ecuación dinámica que permita aprovechar intensamente los recursos humanos de alta calificación que tiene la universidad, para satisfacer las demandas del sector productivo. A medida que unos y otros se conocen en sus capacidades y limitaciones, la unidad se va haciendo más funcional.

El Decano de la Facultad de Ingeniería contó a CONTACTO algunas de las perspectivas del problema y cómo lo ve la Universidad Técnica del Estado. Para el doctor en Ciencias, Arturo Meléndez Infante, 48 años, titular de la Facultad, la vinculación con la actividad empresarial debe ser una actitud planificada y científicamente llevada adelante.

Meléndez es ingeniero politécnico en la especialidad de Química, con estudios y trabajos de investigación en electroquímica

avanzada en el Instituto de Química de la Universidad de Strasbourg, donde obtuvo su doctorado. Entre 1964 y 1974 fue profesor de electroquímica en la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de Chile, y profesor asociado del Instituto de Química de la Universidad Católica de Chile en su Departamento de Fisicoquímica.

Profesor de la Academia Politécnica Militar y del Batallón de Intendencia del Ejército, el doctor Meléndez es miembro del Consejo de INACAP y vicepresidente de la Comisión de Decanos de Facultades de Ingeniería del Consejo de Rectores. En el área de la investigación ha publicado varios trabajos sobre corrosión electroquímica; aplicación de trazadores isotópicos a la electroquímica; mecanismos de corrosión idiomórfica del manga-

neso en medio fosfórico; comportamiento electroquímico de electrodos de manganeso, etc.

En diálogo con CONTACTO, respondió así nuestras consultas:

BALANCE DE UNA JORNADA

Se ha cumplido un lapso prudente en que Ud. ha ejercido el Decanato. Intentemos un balance de lo realizado. Un balance de las luces y sombras, si es que también se han producido sombras.

Efectivamente, se ha cumplido un lapso prudente desde que he asumido el cargo de Decano de la Facultad de Ingeniería. Puedo decir que al hacer un balance de la labor que se ha realizado en la Facultad el resultado es altamente positivo. Al asumir el Decanato no existía la

Facultad de Ciencia; la Facultad de Ingeniería contaba con 16 departamentos académicos, algunos de ellos sólo tenían uno o dos profesores de jornada completa; los departamentos estaban divididos, una parte servía a la carrera de Ingeniería Civil y otra a la de Ingeniería de Ejecución. Todo esto fue reestructurado, lográndose una mayor racionalidad administrativa y académica. Los departamentos que hoy día son sólo ocho y están integrados, existiendo un trabajo de equipo en todos ellos.

La investigación, quehacer fundamental de la vida académica, ha alcanzado niveles bastante satisfactorios y se ha acentuado en la Facultad. Hoy podemos decir con orgullo que los ocho departamentos académicos han presentado ya trabajos de exce-



Una actividad permanente y múltiple caracteriza el quehacer actual de la Facultad de Ingeniería de la UTE.



lente calidad y así lo seguirán haciendo.

Otra actividad importante que se ha logrado es el fortalecimiento de la vinculación Universidad-Sector Productivo. Esto se ha hecho principalmente a base de cursos de reciclaje, perfeccionamiento y actualización de conocimientos, además de una serie de trabajos de asistencia técnica que se han realizado a través de los diferentes departamentos académicos.

Este último ha permitido cierta soltura financiera, que se ha traducido en un gran fortalecimiento y mejoramiento de la infraestructura de la Facultad.

Estructurados ya los niveles de Ejecución y Civil de las Ingenierías, es importante saber hacia dónde se encamina el postgrado. ¿Están en estudio algunos master y, eventualmente, doctorados?

Después de lograr una racionalización en la organización de la Facultad para hacerla más operativa, ella se ha abocado a la formulación de nuevos planes de estudio de las carreras que se imparten. Es así como están muy avanzados los nuevos planes para la carrera de Ingeniería Civil y Ejecución en sus diferentes especialidades. Estos planes se están estructurando de tal forma que deberán responder a las necesidades reales del país. Se ha partido definiendo previamente lo que debe ser cada carrera, para evitar en lo posible superposición de la actividad profesional de los futuros titulados.

En lo referente a postgrado, no se ha logrado, diría yo, un avance sustantivo, pero sí creemos que tenemos ya en algunas áreas la infraestructura para hacerlo y es así como se ha decretado el primer programa que se refiere al Master en Ciencia Aplicada en la especialidad de Geografía.

Por otro lado, está en su

última etapa de concretización el Master en Ciencia Aplicada en la especialidad de Metalurgia y en la especialidad de Electricidad.

Respecto a futuros programas de doctorado, no están dentro del plan de desarrollo a corto plazo y estimo que será difícil su implementación a mediano plazo. Dependerá fundamentalmente de la forma en que se desenvuelvan los programas de Magister y de las condiciones futuras que se presenten en el país.

PROYECCIONES

¿Se han proyectado los requerimientos de la Facultad en equipos y recursos humanos para el próximo decenio?

Se está estudiando una racionalización del espacio físico de la Facultad, puesto que hoy día la mayoría de los departamentos están físicamente separados, lo que hace muy difícil su operación.

El primer departamento que en los próximos meses quedará unificado es el de Industria, que ocupará el sector poniente de la ex Escuela de Artes y Oficios.

Está en elaboración el proyecto del edificio del Departamento de Electricidad, que ocupará los antiguos edificios del Servicio Nacional de Salud en Avenida Ecuador.

La Empresa Nacional de Minería está pronta a hacer entrega a la Universidad de sus laboratorios ubicados en Avenida Portales, lo que permitirá instalar en la debida forma el Departamento de Minas en ese sector.

¿De qué forma la Facultad está materializando su interés por vincularse cada vez en forma más estrecha con el sector productivo?

La Facultad ha estado vivamente preocupada de aumentar esta vinculación Universidad-Sector Productivo. Para esto esta-

mos proyectando la creación de una nueva unidad que se ha dado en llamar Departamento de Asistencia Técnica (DAT). Este departamento tendrá como misión fundamental llevar a cabo una política de fortalecimiento de los vínculos entre la Universidad y el Sector Productivo. Esto debe lograrse mediante actividades de prestación de servicio de ingeniería, de investigación y de docencia.

Este departamento vendrá a racionalizar toda la gestión que en este sentido está desarrollando la Facultad. Existen ya varios convenios en ejecución y está por firmarse un nuevo convenio con CONVERGE.

ASISTENCIA TECNICA

Se ha señalado que la Facultad a su cargo, dentro de sus similares del país, es la que se ha quedado atrás en cuanto a solicitar la cooperación internacional, tanto la multinacional como la bilateral. ¿Es efectiva esta apreciación? ¿No necesita la Facultad de expertos, becas, equipos u otras formas de asistencia foráneas?

Es efectivo que nuestra Facultad tiene poca cooperación internacional. Estamos tratando de aumentarla por todos los medios. No es una tarea fácil. Lograr este tipo de cooperación requiere de tiempo, puesto que para conseguirla debe existir un contacto estrecho a través de académicos que realicen trabajos en conjunto con la Universidad extranjera, es decir un conocimiento mutuo previo antes de que el convenio internacional se realice.

En estemomento tenemos en esta etapa varios posibles convenios internacionales.

¿Cómo ha atendido la Facultad la demanda del Sector Industrial en cuanto a adiestramiento de mano de obra?

El adiestramiento de mano de obra corresponde realizarlo a la Facultad en forma subsidiaria. Si se ha realizado ha sido en forma transitoria por falta de un número suficiente de instituciones que pudieran hacerlo. En la medida que se den las condiciones deberá desaparecer de la Facultad. Por ahora y mientras subsista una infraestructura heredada del Grado Técnico Profesional, será el nuevo Departamento de Asistencia Técnica el que se encargue de ofrecer este adiestramiento, supervisarlo y coordinarlo.

HACER CIENCIA

¿Qué opinión le merece la administración de la investigación en Ciencia y Tecnología que hace DICYT en nuestra Universidad? ¿Cree conveniente la creación de un organismo autónomo autofinanciado, con capacidad nego-

ciadora con la industria y destinado a ofertar permanentemente lo que la Universidad pueda hacer en beneficio del sector productivo? Tales roles no los cumple ahora DICYT.

Estimo que la DICYT está cumpliendo en muy buena forma con la administración de la investigación en Ciencia y Tecnología. Se están financiando realmente los proyectos que tienen futuro y se han dejado los que no han dado los frutos que se proyectaban.

No creo en la necesidad de crear un organismo autónomo autofinanciado para que pueda negociar con la industria y ofrecer lo que la Universidad puede hacer en beneficio del sector productivo. La razón está en el diferente quehacer que tienen las diferentes facultades. Esto no significaría que ese organismo tendría que tener especialistas en

cada área que estarían encargados de ofrecer y negociar los proyectos específicos. Creo conveniente que exista una Dirección a nivel general que dicte normas de la forma en que se debe operar en esta materia. A nivel de Facultad debe existir una unidad de Asistencia Técnica que, como lo señalé anteriormente, promueva, gestione, asesore, coordine y controle las actividades operativas de asistencia técnica que realicen los diversos departamentos académicos.

Esto porque en lo que a Ingeniería respecta, es difícil que un proyecto no requiera, hoy día, de la participación de varios departamentos académicos. Por eso es que creo que no le corresponde a DICYT este rol de vinculación Universidad-Sector Productivo.



MISION DE LA UTE

En una entrevista anterior, realizada en CONTACTO, el ingeniero Hugo Levy Salazar, señaló que el apellido de "Técnica" resultaba en cierta forma una limitante que para nuestra Universidad cumpliera un rol más protagonista en el país. ¿Qué opinión le merece este asunto, toda vez que bajo el alero del plantel funciona una Facultad de Estudios Generales y hasta un Master en Educación?

No creo que el nombre de una institución pueda tener limitantes para que la Universidad pueda cumplir el rol que le corresponde, que es servir a la sociedad. Tampoco creo que por el hecho de llamarse Universidad Técnica la desmerezca de las otras universidades. Al menos no debería serlo.

Lo que creo es que el rol más o menos protagonista de una Universidad, depende de si está cumpliendo bien o mal con su quehacer esto es, el de llevar al más alto nivel y al ritmo que le impone el progreso, las formas superiores de la cultura y de la investigación, procurando el acceso a ella a todos los que tienen la vocación y la capacidad de hacerlo.

El manejo académico de las ingenierías (E) que se entregan en las sedes de la UTE, se realiza sin ninguna ingerencia de la Facultad que Ud. dirige. ¿Cómo evalúa Ud. este procedimiento? ¿Es positivo o no que siga igual?

Hasta la fecha el manejo académico de las carreras de Ingeniería de Ejecución que se entregan en las sedes se ha realizado sin o con muy poca ingerencia de la Facultad de Ingeniería. No existen las herramientas para hacerlo. Con la dictación del Decreto Universitario N° 2149 del 16 de noviembre de 1978, que aprueba el Reglamen-

to de las Facultades, se entrega a éstas la función de coordinar las actividades docentes y de investigación que se desarrollan en las sedes. Además deben las facultades cuidar que los planes de estudio aprobados sean los propios o los que se imparten en las sedes.

La Escuela Tecnológica dice preparar "los mandos medios que la empresa necesita a través de la carrera de Técnico Universitario, para desenvolverse entre el ingeniero y el obrero especializado" ¿Tiene usted conocimiento de los programas que allí se aplican? ¿Hay mecanismos de retroalimentación académica entre ambas unidades?

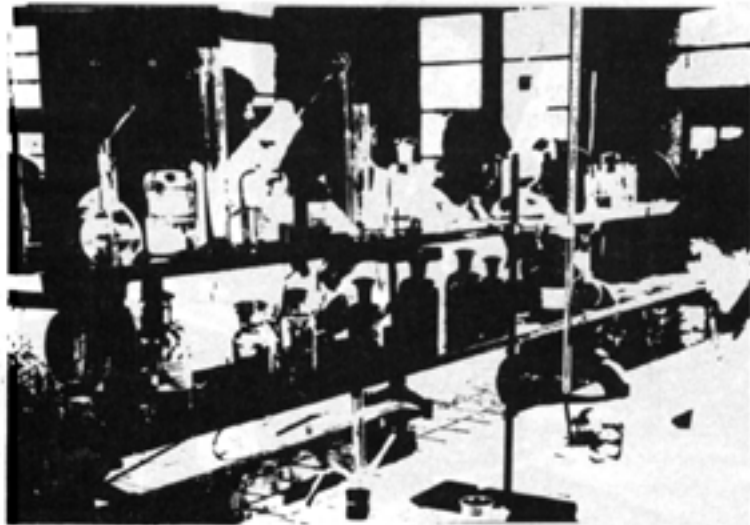
En mi opinión, y quiero dejar constancia que es mi parecer personal, la carrera de Técnico no debe tener carácter universitario. Su formación debería darse fuera de las universidades, en institutos u otros organismos públicos o privados que aprovecharían el potencial humano que entrega la educación media, y que podría ser una alternativa de ella.

Ahora respondiendo a sus preguntas puedo decirle que la Facultad nunca ha tenido ninguna ingerencia en los planes y programas que se aplican en la Escuela Tecnológica. No existe

ningún mecanismo de retroalimentación académica entre ambas unidades. Las carreras que imparte la Escuela Tecnológica son terminales y no tienen continuidad en la Facultad de Ingeniería.

¿Qué proyecciones considera Ud. que puede tener el I Congreso Nacional de Metalurgia en relación al desarrollo de su Facultad, desde el punto de vista de la relación Universidad-Empresa?

Todo Congreso tiene grandes perspectivas y este I Congreso Nacional de Metalurgia, que en realidad tiene carácter internacional por los trabajos presentados, nos va a permitir darnos a conocer no sólo en el campo de la Metalurgia, sino que en otras áreas. Son muchos los profesionales que van a estar presentes, y esto va seguramente a incrementar considerablemente el vínculo entre Universidad-Empresa. Hay que considerar que la mejor forma de relacionarse es el contacto personal y este es uno de los grandes méritos que tienen los congresos, fuera de conocer de cerca lo que otras personas están investigando y proyectando. En el fondo, con este evento daremos un paso sólido en nuestra mayoría de edad nacional e internacional.





Profesor Wilhem C. Roentgen.

El denso silencio de la noche es repentinamente quebrado por el estruendoso ulular de una sirena. La veloz ambulancia llega hasta la entrada de emergencia del hospital, desde donde una pequeña con su rostro retorcido por el dolor es rápidamente trasladada hasta el pabellón de cirugía. La angustiosa mirada de los padres es certeramente interpretada por el cirujano: operaremos en cuanto conozcamos el resultado de la radiografía. Para muchos padres como ellos, los rayos X constituyen el milagro que un día salvó la preciosa vida de su hija. Para otros, significan una poderosa herramienta de investigación científica y tecnológica, que ha permitido lograr grandes avances en el campo de la Metalurgia y ramas afines.

Los cristalógrafos utilizan un fino e intenso haz de rayos X para descubrir la maravillosa arquitectura de los cristales, aprendiendo así la naturaleza de las fuerzas que mantienen a los átomos unidos.

En las artes plásticas, los rayos X son de gran utilidad para comprobar la autenticidad de valiosas obras de arte, así como también para investigar diferentes técnicas de pintura.

Para muchos otros, no resulta difícil relacionar los rayos X con la radioactividad, y por ende, con las gigantescas nubes atómicas que sembraron destrucción y horror durante una etapa negra en la historia de la humanidad.

Cualquiera que sea la idea que de los rayos X se tiene, no escapa al entendimiento del hombre

LOS RAYOS X,

UN DESCUBRIMIENTO TRASCENDENTAL



Jorge Garín Córdova

Director Departamento de Metalurgia UTE

común que su descubrimiento constituye uno de los más relevantes que ha abrazado la ciencia, por sus múltiples e importantes aplicaciones a que ha dado lugar durante el presente siglo.

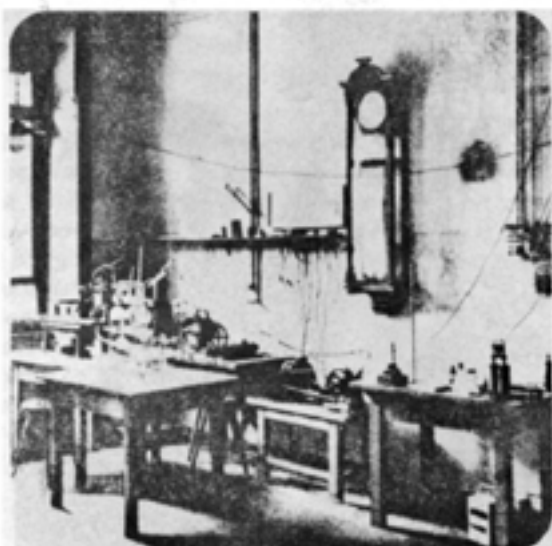
EL DESCUBRIMIENTO DE ROENTGEN: UN NUEVO TIPO DE RADIACION

Uno de los fenómenos físicos que más atrajo la atención de los investigadores durante la segunda mitad del siglo XIX, fueron los rayos catódicos. Se dedicaron grandes esfuerzos a estudiar sus propie-

dades y determinar si se trataba de partículas o de alguna clase de radiación electromagnética. Resultaba relativamente simple sellar parcialmente al vacío un tubo de vidrio, al cual se le insertaban previamente dos electrodos metálicos, para luego aplicar una diferencia elevada de potencial entre ambos electrodos. A la luz visible emitida durante el proceso, se le llamó incorrectamente "fluorescencia". El término adecuado es "luminiscencia" o "catodoluminiscencia". Casi al terminar el siglo, J. J. Thomson demostró en la Universidad de Cambridge que los rayos catódicos eran pequeñas partículas cargadas negativamente y con una masa equivalente a $1/1.800$ de la masa del átomo de hidrógeno. El nombre de electrón se adoptó para tales partículas, a sugerencia del físico J. Stoney. Posteriormente, en 1910 Robert Millikan realizó en la Universidad de Chicago su famoso experimento de la gota de aceite, lo que permitió conocer con exactitud la carga absoluta del electrón.

No fue ajeno al interés creado por el fenómeno de los rayos catódicos, el físico alemán Wilhem Conrad Roentgen, profesor de la Universidad de Würzburg en Bavaria. Al atardecer de un día de noviembre de 1895, Roentgen encerró un tubo de rayos catódicos en una caja de cartón opaco a la luz. La naturaleza exacta del experimento que había planificado, nunca se supo, porque se reveló un fenómeno totalmente inesperado. En efecto, cuando Roentgen conectó su tubo a una bobina de inducción e hizo pasar una corriente eléctrica a través de él, observó en la penumbra de su laboratorio una tenue luminiscencia verdosa proveniente de un mesón cercano. La fantasmal luminiscencia atrajo la atención del físico, quien en un primer instante atribuyó su ocurrencia a una chispa de la bobina de alto voltaje. Al enviar nuevamente un pulso al tubo, observó directamente en la dirección de la luminosidad y comprobó por segunda vez el peculiar fenómeno, concluyendo que algo totalmente nuevo se estaba dando a conocer. Encendió en seguida un fósforo para buscar en la obscuridad del cuarto la causa del fenómeno, y encontró sobre el mesón una pantalla cubierta con platino-cianuro de bario, fosforescente cuando se exponía a algún tipo de radiación. Al retirar Roentgen aún más la pantalla del tubo de rayos catódicos, el efecto se verificó nuevamente. Resultó claro entonces, que la luminiscencia no era causada por los rayos catódicos, los cuales eran fácilmente absorbidos por el tubo de vidrio, la caja de cartón y el aire. Una secuencia de experimentos demostró que la radiación responsable de esa luminiscencia emanaba del área del tubo de vidrio donde chocaba el haz de rayos catódicos. Roentgen comprendió inmediatamente que había descu-

bierto una nueva clase de radiación, con un gran poder de penetración y totalmente invisible al ojo humano. Por esa razón denominó a ese tipo de radiación, rayos X.



Laboratorio del profesor Roentgen.

Durante las semanas de intenso trabajo que siguieron, Roentgen encontró con bastante entusiasmo que los nuevos rayos podían penetrar en forma selectiva a través de los diferentes materiales. Casualmente interpuso una de sus manos entre el tubo y la pantalla fluorescente, descubriendo con gran sorpresa cómo los huesos de la mano se perfilaban claramente sobre la pantalla. Gran aficionado a la fotografía, Roentgen no resistió la tentación de reemplazar la pantalla fluorescente por una placa fotográfica, logrando así la primera radiografía de la historia. Nuevos experimentos que el gran físico realizó, permitieron concluir que la radiación se producía con mayor eficiencia si los rayos catódicos incidían sobre un blanco metálico, que su intensidad aumentaba utilizando un metal pesado y un mayor voltaje de operación, y muchas otras características de los rayos X. También intentó varias experiencias con el fin de comprobar si los rayos se podían reflejar, refractar o difractar, sin obtener resultados positivos.

Convencido Roentgen de las considerables aplicaciones a que su descubrimiento podría conducir, decidió comunicarlo al mundo. Durante los últimos días de diciembre de 1895, envió a la Sociedad Médica y Física de Würzburg, su artículo titulado "Über eine neue Art von Strahlen" (Sobre una Nueva Clase de Radiación). Al cabo de algunos días, después de realizada la publicación, las principales capitales del mundo recibían la sensacional noticia.

En Londres, el "Daily Chronicle" informó en su edición del 6 de enero de 1896 que "la alarma de la guerra no debería distraer la atención de un maravilloso triunfo de la ciencia, cuya información llega desde Viena. El profesor Roentgen, de la Universidad de Würzburg, ha descubierto una luz que, para efectos de fotografía, es capaz de penetrar en la madera, músculos, telas y muchas otras sustancias orgánicas. El profesor fotografió exitosamente las pesas de metal que estaban en el interior de una caja cerrada de madera. También lo hizo con una mano, mostrando solamente los huesos y no la musculatura de ella"



"Sonría por favor". Alusión a la "nueva fotografía de Roentgen" aparecida en la revista LIFE de febrero de 1896.

El 23 de enero de 1896, Roentgen ofreció su primera conferencia pública acerca del trascendental descubrimiento. El anfiteatro se encontraba totalmente completo, y cuando Roentgen hizo su entrada, el auditorium lo recibió con un estruendoso aplauso. Roentgen comenzó la charla describiendo algunos factores prácticos del tubo. Entre otras cosas dijo: "Encontré por accidente que los rayos también atravesaban el papel opaco. Entonces usé madera y libros, pero aún no estaba convencido del fenómeno. Finalmente, recurrí a la película fotográfica y el experimento terminó exitosamente" Una vez finalizada la conferencia, Roentgen solicitó al anatomista de la Universidad, Albert von Kolliker, la colaboración para radiografiar su mano. Kolliker accedió y acto seguido colocó su mano sobre la película. El tubo, previamente cubierto con papel opaco, fue luego

energizado. La fotografía fue rápidamente revelada y, ante la expectación de la distinguida audiencia y de los estudiantes presentes, mostró claramente los huesos y el tejido de la mano. El aplauso, ahora más estruendoso que el primero, se escuchó durante prolongado tiempo, como una manifestación de admiración por el interesante descubrimiento. Kolliker propuso que esos nuevos rayos fueran denominados rayos Roentgen, en honor al distinguido físico, quien, sin embargo, insistió en llamarlos rayos X.



Radiografía de la mano del profesor Kolliker.

La existencia de los rayos X fue también anunciada por un investigador norteamericano, quien lamentablemente no pudo aspirar al mérito de su descubrimiento, por no haber reconocido en un principio la verdadera naturaleza de él. En efecto, el físico A. W. Goodspeed, de Filadelfia, tomó accidentalmente una fotografía de rayos X en febrero de 1890, esto es, seis años antes del famoso experimento de Roentgen. Goodspeed atribuyó las manchas sobre la película a una filtración de luz, guardándola luego en un archivo

de efectos secundarios. Poco tiempo después del descubrimiento de Roentgen, y en ocasión de dictar una conferencia en la Universidad de Pennsylvania, donde exhibió su película, Goodspeed expresó: "No reclamamos mérito por este descubrimiento, porque después de todo, no realizamos ningún descubrimiento. Todo lo que pedimos es que ustedes, caballeros, recuerden que hace seis años se tomó la primera fotografía de rayos catódicos en el laboratorio de física de la Universidad de Pennsylvania"

El descubrimiento de los rayos X se difundió rápidamente por todo el mundo, revelándose muy pronto la radiografía como una aplicación fundamental, utilizada en los hospitales y luego en la industria, como una técnica de inspección no destructiva.

Probablemente, una de las primeras aplicaciones militares del nuevo descubrimiento, tomó lugar durante la guerra española-americana de 1898. El principal uso que en esa ocasión el ejército americano dio a los rayos X, consistió en la localización y extracción de proyectiles, y en el examen de fracturas. El desconocimiento que hasta la fecha se tenía sobre los efectos nocivos de la radiación, se manifestó drásticamente durante la campaña de Santiago. Debido a que las radiografías se tomaban en el mismo frente de batalla, con todos los inconvenientes imaginables, resultaba preciso repetir las exposiciones dos o tres veces, lo que en corto plazo se tradujo en severas quemaduras y úlceras de las partes expuestas, que en muchos casos demoraron hasta un año en sanar. Ante tal eventualidad, en que el efecto de los rayos X prácticamente se sumó a las fuerzas contrarias, se determinaron las primeras tablas de tiempos óptimos de exposición.

Por la gran contribución entregada a la ciencia, Wilhelm C. Roentgen fue distinguido con el primer Premio Nobel que se otorgó en Física, en 1901.

EL PROFESOR ROENTGEN, UN INVESTIGADOR INCANSABLE

El genio infatigable de Roentgen se complementaba de manera especial con su gran habilidad para el trabajo de laboratorio y la aplicación de los resultados en un sentido práctico. Podía, además, reconocer fácilmente la inminencia de nuevos conocimientos, y elaborarlos hasta que quedaran integrados en una herencia científica.

Hasta el año 1897, Roentgen había publicado tres artículos científicos sobre los rayos X, presentando los resultados de investigación fundamental sobre varios efectos concernientes a la nueva clase de radiación y que hasta la fecha no habían sido exhaustivamente analizados. Estableció así, mu-

chas de las leyes fundamentales que describen el fenómeno y los efectos relacionados con él.

La gran pasión de Roentgen por la ciencia, lo mantuvo ajeno a las ambiciones personales, a tal punto que nunca ganó un centavo como consecuencia de su genial descubrimiento. Al respecto, afirmaba: "De acuerdo con la tradición de los profesores de las universidades alemanas, soy de la opinión que sus descubrimientos e invenciones pertenecen a la humanidad, y que no deberían de modo alguno ser sujetos a patentes, licencias o contratos, así como tampoco ser controlados por ningún tipo de grupo" Al contrario, el gran inventor norteamericano, Thomas A. Edison, comentó públicamente: "Roentgen probablemente no usufructuó un simple dólar de su descubrimiento. Perteneció a esa clase de hombres de ciencia que estudian por placer y amor por escudriñar en los secretos de la naturaleza. Después que han descubierto algo maravilloso, invariablemente alguien ajeno a ello lo considera desde el punto de vista comercial. Este será también el caso con el descubrimiento de Roentgen. Es lógico que se trate de usar y explotar comercialmente"

Como resultado de una demostración ante el Kaiser Wilhem II, Roentgen fue honrado con una alta condecoración prusiana. Luego, cuando el príncipe de Bavaria le ofreció un título de nobleza, esto es, el privilegio de usar el prefijo "von" antes del apellido, cortésmente rehusó ser merecedor de tal distinción. Los títulos y la nobleza en general, no tenían mayor importancia para el distinguido científico.

Muchos cargos importantes le fueron ofrecidos, pero él declinó aceptarlos, quizás a causa de su gran depresión por la prolongada enfermedad de su esposa, quien falleció al tiempo después. La salud de Roentgen continuó buena, pero su estado depresivo limitó seriamente sus actividades científicas.

Roentgen reconoció el mérito de su descubrimiento, pero no sin antes destacar el trabajo realizado en el mismo campo, por los científicos que lo precedieron. Quizás uno de los más importantes fue Michael Faraday, quien en 1838 había producido una descarga de electricidad a través del espacio, en un tubo de vidrio parcialmente evacuado. Las primeras observaciones de Faraday orientaron el trabajo de Wilhem Hittorf en 1869, quien descubrió los rayos catódicos y describió el paso de la electricidad producida por una corriente de inducción en un tubo al vacío.

Poco tiempo después, en Inglaterra, William Crookes logró fabricar tubos con mejores vacíos, encontrando que los rayos catódicos son corrientes de partículas cargadas negativamente, que pueden ser desviadas por un campo electromagnético y

producen calor al chocar contra la materia" Probablemente Crookes produjo rayos X durante todos sus experimentos con rayos catódicos, sin llegar a detectar su existencia.

Roentgen mantuvo siempre un gran cariño por sus estudiantes, quienes recíprocamente demostraban su afecto al maestro. Su gran respeto por el género humano y la extraordinaria clase de persona que él fue, quedaron de manifiesto una vez más con motivo de un desfile de antorchas con que sus estudiantes lo honraron en la Universidad de Würzburg: "Quisiera agregar a mis agradecimientos la esperanza de que, como estudiantes de esta

Universidad, ustedes sean especialmente elegidos para tomar parte en los grandes progresos del conocimiento humano, que está constantemente avanzando"

Durante la primera guerra mundial, Roentgen fue un gran colaborador del gobierno alemán. La derrota de Alemania y la inflación de la postguerra lo empobrecieron enormemente. En una carta que escribió a su prima Louise, quien vivía en Estados Unidos, le comentaba: "Dado que soy un modesto empleado de gobierno, recibo una pensión que sólo se reajusta algo con el alza del costo de la vida, lo que me permite vivir en forma moderada,

PHILIPS



SI UD. NECESITA

Un ESPECTROMETRO DE EMISION para analizar trazas de elementos en pocos segundos.

O

Un ESPECTROMETRO DE RAYOS X DE LONGITUD DE ONDA DISPERSIVA para determinar la composición de una aleación con gran exactitud.

O bien

Un ESPECTROMETRO DE RAYOS X DE ENERGIA DISPERSIVA para buscar qué elementos están presentes en una muestra.

O tal vez

Un DIFRACTOMETRO DE RAYOS X para estudiar estructuras de materiales.

PHILIPS puede ayudarle a elegir el equipo más adecuado y económico para resolver sus problemas analíticos porque:

PHILIPS cuenta con un amplio programa analítico que incluye cada uno de los instrumentos mencionados en versiones desde operación manual hasta completamente automatizadas y computarizadas.

PHILIPS tiene conocimientos y experiencia mundial en cada una de las diferentes técnicas.

PHILIPS es su socio en el campo de la Ciencia y la Industria.

Mayores informaciones sobre equipos de su interés pueden obtenerse directamente de:

PHILIPS CHILENA S.A.
DIVISION PROFESIONAL
DEPARTAMENTO CIENCIA E INDUSTRIA
Santa María 0760 Fono 372667 Santiago.

pero con mayor frecuencia debo practicar más economías"

Pasó sus últimos años leyendo documentos previos y repasando sus memorias científicas, hasta que murió el 10 de febrero de 1923. "Toda la nación alemana llora en la tumba de su ilustre hijo", declaró el Ministro del Interior durante las exequias del famoso hombre de ciencia.

La diáfana claridad con que Roentgen iluminó el mundo científico, perdurará por largo tiempo en la ruta de los grandes aciertos de la ciencia.

UNA APLICACION SOBRESALIENTE: LA DIFRACCION DE RAYOS X

De las múltiples y variadas aplicaciones que los rayos X prestan a la ciencia y la tecnología contemporánea, la difracción de rayos X como poderosa herramienta de la cristalografía, es probablemente una de las más apasionantes.

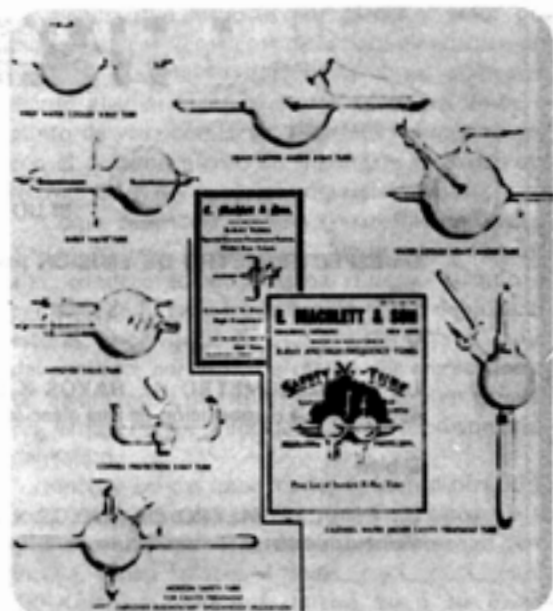
La cristalografía es una amplia disciplina científica. Desde un punto de vista general, concierne la investigación de la estructura, es decir, la arquitectura o arreglos atómicos de los diferentes estados de la materia, particularmente las técnicas de difracción y los métodos analíticos que se aplican en la interpretación de los diagramas de difracción. En un sentido más profundo, sin embargo, las técnicas y resultados de la cristalografía se conjugan con aquellos de varias otras disciplinas científicas, derivando en desarrollos significativos y a veces dramáticos en esos campos.

El amplio rango de aplicación de la cristalografía dificulta, en cierto modo, una caracterización rigurosa de sus fronteras. Dado que involucra la estructura de la materia y sus implicaciones físicas, químicas y biológicas, sustancias con los diferentes estados de orden atómico caen en esos entornos. Ellos incluyen materiales cristalinos ordenados y desordenados, agregados policristalinos, fibras, sólidos amorfos, películas, membranas, líquidos y gases.

El desarrollo de la difracción de rayos X como herramienta fundamental de la cristalografía, comenzó muy pronto después del descubrimiento de Roentgen, y se vio matizado por varios experimentos relevantes efectuados por los pioneros en el campo.

En 1896, los investigadores A. Winkelmann y R. Straubel, realizando experimentos sobre el efecto de los rayos X en un cristal de fluorita, descubrieron que el cristal reemitía un nuevo tipo de radiación X, más débil que la radiación incidente. El descubrimiento fue más tarde ampliado por el físico C. G. Barkla, quien en 1909 detectó la presencia de fuertes componentes homogéneas en

los rayos X emitidos por sus tubos, al ser aquellos aplanados bajo condiciones adecuadas de voltaje. Barkla encontró que esas emisiones eran características de los metales que componían el ánodo de los tubos, y sugirió que los grupos de líneas de emisión fuesen designados como espectros K y L, estableciendo así las primeras ideas que más tarde serían la base de una valiosa técnica de análisis químico, que hoy en día se conoce como espectrometría o fluorescencia de rayos X. Posteriormente, esos espectros se relacionaron con los electrones K y L de los átomos del ánodo, de acuerdo con el nuevo modelo atómico postulado por Niels Bohr. Por su contribución al estudio de las propiedades y características de los rayos X, Barkla recibió el Premio Nobel en 1917.



Primeros tubos comerciales de rayos X, fabricados en 1900 por E. Machlett e hijo.

En la Universidad de München, varios hombres de ciencia investigaban también los fenómenos relacionados con los rayos X. El instituto de investigación en física experimental, dirigido por W. C. Roentgen, desde el año 1900, contaba entre sus miembros con el famoso mineralogista y cristalógrafo P. Groth, quien realizó la primera clasificación de los minerales de acuerdo con su composición química y su ocurrencia geográfica, sentando posteriormente las bases que relacionaron la cristalografía con la química, en su obra monumental "Chemische Kristallographie". El grupo estaba integrado también por A. Sommerfeld y P. Debye, a los cuales se unió en 1909 Max Laue, proveniente de la Universidad de Berlín, donde realizó su tesis de doctorado bajo la supervisión de

Max Planck. En enero de 1912, uno de los estudiantes graduados de Sommerfeld, P. P. Ewald, discutió con Laue las conclusiones de su trabajo sobre la propagación de la luz a través de los cristales. Laue, sin embargo, se mostró más interesado en el hecho de que Ewald usó como modelo de cristal, pequeños osciladores espaciados periódicamente en tres dimensiones, con aproximadamente 10^{-8} cm entre uno y otro. Laue ya sabía de experimentos previos, que la longitud de onda de los rayos X era del orden de 10^{-8} cm. Concibió entonces la genial idea de que un cristal podría servir como una red ideal para difractar los rayos X, pero encontró numerosas objeciones al proponérsela al profesor Sommerfeld. Afortunadamente, logró convencer al asistente de Sommerfeld, W. Friedrich, y a un estudiante graduado de Roentgen, P. Knipping, para realizar el experimento. Al cabo de algunos intentos fracasados, Friedrich y Knipping obtuvieron el diagrama de difracción de un cristal de sulfato de cobre, en la primavera de 1912. Laue aplicó sus conocimientos sobre la teoría de difracción de la luz, al problema de difracción de rayos X por una red cristalina tridimensional, y ese mismo día en el camino de regreso a casa, formuló mentalmente los conceptos principales. Laue publicó su teoría en 1912 y ganó por ello el Premio Nobel en 1914. Ewald se enteró del descubrimiento de Laue en junio de 1912, después de que había dejado München para realizar un postdoctorado en Goettingen. Al término de una conferencia en que el profesor Sommerfeld describió la contribución de Laue, Ewald concluyó que la difracción de rayos X se podría explicar con una teoría similar a la cual él trató en vano de interesar a Laue a principios de ese año. El análisis alternativo de difracción de los rayos X fue publicado por Ewald en 1913, e incluyó en su parte principal el famoso concepto de la red recíproca, extremadamente útil hoy en día para interpretar en forma sencilla y rigurosa cualquier experimento de difracción.

Paralelamente al trabajo realizado por los investigadores alemanes, en Inglaterra existía también bastante interés por el estudio de la naturaleza de los rayos X. En 1908, W. H. Bragg, profesor de física de la Universidad de Leed, efectuaba algunos experimentos sobre la ionización de gases por los rayos X. Tales experimentos lo habían convencido de la posible naturaleza corpuscular de los rayos X, debido a que el proceso de ionización parecía proceder por choques con algunos átomos del gas. Ese punto de vista fue inicialmente compartido por su hijo, W. L. Bragg, quien se encontraba finalizando sus estudios de graduados en la Universidad de Cambridge. Durante el verano de 1912, padre e hijo colaboraron en el análisis de un

artículo de Laue sobre la difracción de rayos X por un cristal de esfalerita, e intentaron explicar el diagrama de difracción postulando el paso de "partículas" de rayos X a través de túneles formados por las hileras de átomos en el cristal. Más tarde, W. L. Bragg cambió su punto de vista en favor de la naturaleza ondulatoria de los rayos X, confirmando así los postulados de Laue. Durante el invierno de 1912, presentó una explicación alternativa de las observaciones de Laue, en términos de la reflexión de ondas de rayos X por planos atómicos del cristal, dando origen a la famosa ley que lleva su nombre y que es actualmente el pilar fundamental de las técnicas de difracción. En una conferencia ofrecida por Bragg en el Instituto de Física de Londres, en 1943, y publicada más tarde en "Science in Britain", recordaba: "Quedaba por explicar por qué algunos planos atómicos del cristal de esfalerita reflejaban la radiación con mayor intensidad que otros. Pope y Barlow tenían la teoría de que los átomos en un cristal cúbico como la esfalerita estaban empaquetados no como esferas en los vértices del cubo, sino que como lo que se conoce con el nombre de empaquetamiento compacto, esto es, hay esferas también en los centros de las caras del cubo. Traté de comprobar si ello explicaba la anomalía, y lo hizo. Resultó entonces claro que la estructura de la esfalerita era del tipo cubo cara centrada".

El trabajo de Bragg atrajo la atención de C.T.R. Wilson, del laboratorio Cavendish en Cambridge, quien sugirió al joven físico que tratara de reflejar rayos X con las caras clivadas de un cristal. El éxito del experimento permitió a W. H. Bragg construir un espectrómetro de rayos X, haciendo posible la medición cuantitativa de intensidades de rayos X, esto es, comprobar por primera vez la naturaleza de un espectro de ese tipo de radiación. El mismo instrumento fue utilizado con éxito por padre e hijo para determinar la primera estructura cristalina, que fue la del cloruro de sodio. Por sus contribuciones al estudio de arreglos atómicos en cristales, W. H. Bragg y W. L. Bragg compartieron el Premio Nobel en 1915.

A partir de los experimentos de Bragg, la difracción de rayos X y su aplicación a la cristalografía se desarrolló en forma casi vertiginosa, hasta constituir la poderosa herramienta de investigación de la estructura de la materia, que es en la época actual. Innumerables científicos han contribuido al crecimiento de esa ciencia, destacándose entre otros M. Buerger, L. Azároff, B. Warren y B. Cullity.

Los usos de la difracción en Metalurgia son también numerosos: comenzando con la cristalografía de metales y aleaciones, disciplina que ha sido ampliamente desarrollada con la colaboración

fundamental del cristalógrafo austriaco Erwin Parthé, la gama de aplicaciones considera el estudio de transformaciones de fases en el estado sólido, transformaciones de orden-desorden en aleaciones, texturas u orientaciones preferenciales, esfuerzos residuales, topografía de rayos X, granulometría y otros de interés. Cabe hacer notar que la Metalurgia Física, en lo concerniente a su descripción estructural, se construyó casi enteramente gracias a la cristalografía de rayos X.

Otra de las grandes aplicaciones que se ha encontrado a la difracción de rayos X, se centra en la biología molecular. En efecto, durante los últimos 20 años, la cristalografía de rayos X ha revolucionado las ciencias biológicas. Ello se evidencia no sólo por los premios nóbeles otorgados a Watson, Crick y Wilkins por la determinación de la estructura del ADN, y a Perutz y Kendrew por la determinación de la primera estructura de una proteína, sino que también por la evolución de la disciplina que constituye la biología molecular. En 1966 había diez laboratorios en los Estados Unidos, dedicados al estudio de estructuras de proteínas. Actualmente, hay 60 laboratorios y el número de investigadores ha aumentado de 25 a más de 300.

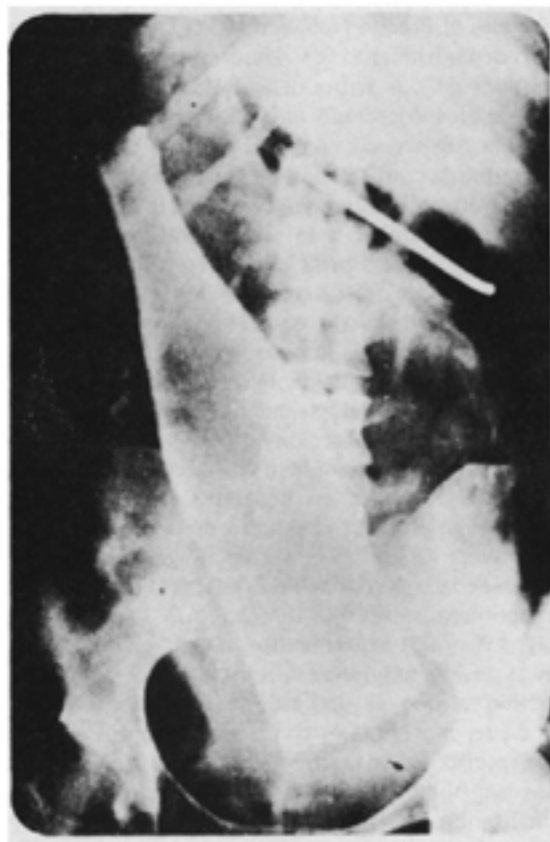
La cristalografía de rayos X es el único método que permite la determinación de estructuras tridimensionales de macromoléculas biológicas, como proteínas, ácidos nucleicos y virus, que pueden ser inducidos a cristalizar. Hasta la fecha, se han determinado las estructuras de aproximadamente 70 proteínas. A pesar de que se trata sólo de una pequeña fracción de todas las proteínas encontradas hasta ahora, el impacto de esos descubrimientos en las ciencias de la vida, ha sido enorme. La investigación comienza a orientarse a áreas que incluyen modificación de enzimas y diseño de nuevas drogas con grandes posibilidades de aplicaciones biomédicas. No está lejos el día en que gracias a la cristalografía de rayos X, se encuentren los antídotos para enfermedades que azotan a la sociedad contemporánea, y que hasta la fecha no tienen remedio conocido.

En la investigación de los materiales, la cristalografía de rayos X ha resultado también un aporte fundamental. El estudio rudimentario de los materiales se ha practicado a través de la historia misma del hombre, como la evidencian los nombres asignados a distintos períodos de la humanidad, esto es, Edad de Piedra, Edad de Bronce y Edad de Hierro. Hasta hace poco, el campo consistía en varias áreas separadas, como metalurgia, cerámicas, polímeros y física y química del estado sólido. A partir de 1950, se hizo evidente que había bastante en común entre todas esas áreas, naciendo entonces un nuevo campo interdisciplinario que las englobaba a todas, y que se bautizó con el nombre

de "Ciencia de Materiales". La cristalografía ha tenido dos influencias principales en la investigación de los materiales: proporcionó un nuevo punto de vista en el estudio de la estructura a nivel de arreglos atómicos y, como una ciencia en sí misma interdisciplinaria, derivó en una apreciación mejorada de los principios comunes a todos los materiales.

La difracción de rayos X continuará jugando un papel central en el avance del conocimiento básico de los materiales, gracias a su habilidad para determinar los arreglos estáticos y dinámicos de los átomos en la materia, y relacionar esa arquitectura atómica con las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los materiales.

Durante la última década, los avances en el análisis de estructura cristalina por difracción de rayos X, han sido extensos y promisorios. El resultado de ello se ha traducido en la estimulación de programas de investigación dirigidos hacia horizontes más amplios. Como ha ocurrido con frecuencia en la ciencia, esa circunstancia debiera prevalecer durante los próximos años, con el consiguiente avance y optimización de las técnicas de análisis que utilizan los rayos X como herramienta fundamental. ●



Un caso extraño revelado por los rayos X.



CALCULO DE ACTIVIDADES EN SISTEMAS MULTICOM- PONENTES

Por Jaime Rauld Faine

CONTENIDO: Después de una pequeña revisión teórica, se aplica el concepto de parámetros de interacción a problemas de Siderurgia y Metalurgia del Cobre.

Nº Pág. 44 Valor \$ 100



TERMODINAMICA DE SOLUCIONES METAL. I PARTE

Por Jaime Rauld Faine

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



INTRODUCCION A LA METALURGIA

Por Bernd Schulz Eglin

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



FISICOQUIMICA DE REFRACTARIOS

Por Nelson Santander M.

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

Por Israel Murgas de la Paz

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

Por Heraldo Biloni

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

Por Nelson Santander M.

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

Por Nelson Santander M.

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

REDUCCION DIRECTA

M. Sc. René Bustamante M.
Profesor Jornada Completa
Departamento Metalurgia UTE



INTRODUCCION

La siderurgia moderna se encuentra en una fase de decisiones de extrema importancia, que pueden comprometer seriamente los esfuerzos nacionales si se basan en premisas insuficientemente analizadas. Cada país en particular debe tomar sus decisiones haciendo un análisis exhaustivo de sus propias posibilidades en recursos naturales del mercado internacional, cada vez menos dependiente del control de países aislados o grupos de países, por más fuertes que sean. Las modernas tecnologías siderúrgicas indican, actualmente, dos vías para la producción de acero¹ reducción propiamente tal y sobre reducción (no sólo se reducen los óxidos de hierro, sino que también otros óxidos no ferrosos y además se produce una carburación del metal), en el alto horno, seguida de una oxidación en acería (esta última constituida generalmente, hoy en día, por una conversión al oxígeno), y por otro lado una reducción de los minerales de hierro al estado sólido, es decir una vía más directa, tal como se puede ver en la figura 1.

En lo que se refiere a la vía alto horno es perfectamente conocida, sin duda en lo que se refiere a sus posibilidades y perspectivas, la reducción directa, en cambio se encuentra en sus fases preliminares representando una tecnología con un vasto campo a ser explorado.

De aquí que, la opción por el alto horno significa seguridad operacional y certeza en cuanto a los resultados a alcanzar. La opción por la reducción directa, por otro lado, implica la posibilidad de obtención de resultados a medio y largo plazo tal vez mejores que los permitidos por el alto horno, obligando eso sí, al mismo tiempo, a asumir todos los riesgos inherentes al pionerismo que significa la adopción de dicha tecnología.

Al observar las políticas económicas en lo que se refiere al comercio internacional, tendientes al aumento siempre creciente del egoísmo de los países, en el sentido de que cada vez más se reservan para sí las materias primas necesarias para todos, aconsejan a que cada país aplique el máximo esfuerzo en ser lo menos dependiente

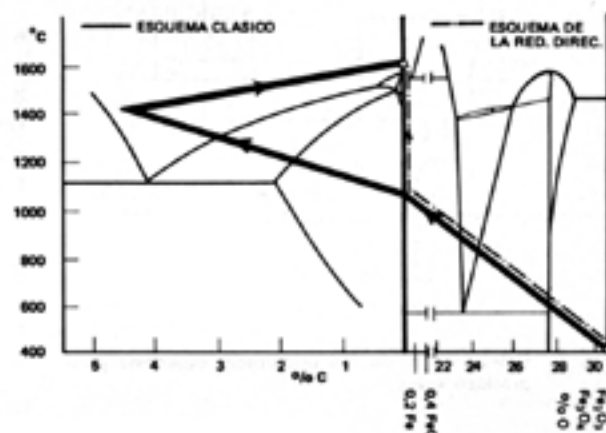


Fig. 1: Diagrama de trabajos opcionales para producir acero.

posible de terceros para el funcionamiento de su siderurgia.

De las materias primas e insumos utilizados en una siderurgia, los reductores adquieren una gran importancia, en particular porque son fuente de energía. De aquí que las crisis mundiales de energía, como la que actualmente ocurre, afectan poderosamente a la siderurgia (tabla I).

TABLA I
CAMBIO EN EL PRECIO DE LA ENERGÍA* (1967 = 100)

	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
Carbón coqueificado	100	102,2	110,2	142,0	165,0	176,0	192,0	367,4	537,9	503,2
Petróleo	100	98,1	99,6	101,1	106,8	108,9	128,7	223,4	257,5	268,8
Gas Natural	100	101,6	103,2	112,2	121,0	131,3	155,1	155,1	215,3	272,1
Electricidad	100	100,9	102,0	104,8	113,6	121,5	121,3	163,1	193,4	211,8

* De Iron Age, November 8, 1976.

Colocándonos en un plano más práctico y desde el punto de vista económico, lo anterior conduce a disponer de cierto número de esquemas que pueden permitir una mayor flexibilidad para la elaboración del acero, los que se han resumido en la figura 2, observándose allí que pueden posibilitarnos una mayor adaptación.

- a los recursos de mineral de hierro y sobre todo de energía, de las diferentes regiones;
- a las capacidades de producción contempladas;
- a la división de conjunto del esquema, con la ubicación de ciertas operaciones, por ejemplo, en las zonas mineras;
- a obtener un mejor control de las condiciones ambientales en las regiones donde se hallan las instalaciones siderúrgicas.

Parece evidente que la prerreducción va a conceder una nueva dimensión en la siderurgia y una mayor flexibilidad para el proyecto de usinas siderúrgicas, pero no creemos que se impondrá algunos de estos esquemas, sino que por el contrario, se generará toda una serie de diferentes esquemas adaptados a problemas diversos.

Procesos de reducción de Minerales de Hierro^{1, 2, 3}

Los principios básicos de la reducción de óxidos de hierro usando reductores carbonáceos se remonta a 4.000 años. En los inicios de la siderurgia no se obtenían altas temperaturas, pero con la evolución de la tecnología esa posibilidad se fue desarrollando, surgiendo al final el alto horno, que después de perfeccionamientos graduales alcanzó el grado de eficiencia que se conoce hoy, constituyéndose en la base fundamental de la moderna industria siderúrgica mundial. El desarrollo de los altos hornos llegó a tal punto que actualmente existen usinas que pueden producir más de 10.000 toneladas de arrabio por día. A pesar de haber alcanzado tales niveles de producción, varios factores, tales como: la dificultad creciente de obtención de coque de buena calidad y/o su alto precio, hicieron que los siderúrgicos buscaran nuevas técnicas de reducción de minerales de hierro.

Como resultado de tales investigaciones fueron desarrollados un sinnúmero de procesos de reducción directa, los cuales toman en cuenta disponibilidad de minerales de hierro cuyo uso en el alto horno no es factible o conveniente, el empleo de carbón no coqueificado u otros combustibles sólidos.

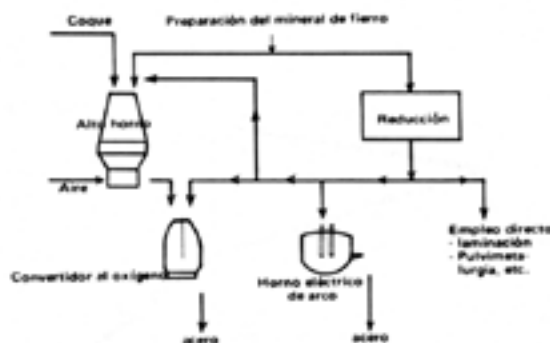


Fig. 2: Comparación de los principales esquemas para producir acero.

dos, líquidos y gaseosos, la posibilidad de complementar las necesidades de chatarra y/o la falta total en ciertas áreas, operando económicamente a una escala determinada por el mercado regional y por la disponibilidad de materias primas adecuadas.

Los procesos de reducción de minerales de hierro actualmente conocidos se dividen en dos grandes grupos, a saber:

- procesos de reducción en fase líquida, en los cuales la reducción se lleva a efecto en presencia de exceso de carbono, dando como resultado un arrabio, producto exento de oxígeno y rico en carbono.
- procesos de reducción en el estado sólido, en los cuales la retirada del oxígeno se procesa por debajo del punto de fusión del hierro, resultando un producto con bajo porcentaje de carbono y porcentajes todavía elevados de oxígeno, usualmente llamado hierro esponja. Estos procesos son los que se denominan de reducción directa.

Los procesos de reducción en fase líquida son dos:

- Alto Horno, en el cual la reducción se verifica por medio del carbono, que actúa también como fuente de energía del proceso.

- Horno Eléctrico de Reducción o Bajo Horno, en el cual la reducción se lleva a efecto mediante el carbono y la energía necesaria para el proceso es energía eléctrica.

En cuanto a los procesos de reducción directa se pueden clasificar en cuatro grupos:

- Procesos en horno rotatorio, usando reductores sólidos. Los más conocidos actualmente son:

- SL/RN proceso continuo de producción de hierro esponja, usa carbón como agente reductor y térmico, variando desde el lignito, coque de baja temperatura, antracita, etc. Utiliza mineral de hierro o pellets, que es cargado en el horno rotatorio conjuntamente con el agente reductor. La temperatura de las reacciones es de aproximadamente 1100°C. El hierro esponja obtenido puede alcanzar un grado de metalización en torno de 95%. El consumo aproximado de combustible es del orden de 3,4 a 4,0 Gcal por tonelada de producto. El costo de la inversión es del orden de US\$ 37,00 por tonelada de hierro esponja.

- KRUPP proceso continuo de producción de hierro esponja en horno tubular rotativo que utiliza carbón como agente reductor y térmico. La operación es rentable si se parte de un mineral en trozos, de pellets o de concentrados con un contenido de hierro superior al 65%. La temperatura de las reacciones varía de aproximadamente 1100°C a 1250°C. El hierro esponja obtenido puede alcanzar un grado de metalización entre 90 y 97%. El consumo aproximado de combustible es del orden de 5,5 a 7,6 Gcal por tonelada de hierro reducido.

- Procesos en Lecho Fijo.

- H y L, proceso intermitente de producción de hierro esponja en reactores fijos utilizando una mezcla de hidrógeno y de monóxido de carbono obtenidos mediante la reformación catalítica de gas natural o de cualquier otro hidrocarburo reformable por vía termo-catalítica como agente reductor y térmico, el cual circula en el mismo sentido que el de la carga compuesta de mineral o pellets. El gas reductor contiene cerca de 74% de H₂ y 13% de CO. La temperatura de reacción es de alrededor de 980°C. El hierro esponja obtenido tiene un grado de metalización del orden de 88%. Utiliza mineral de hierro o pellets, principalmente pellets. El consumo aproximado de combustible es del orden de 4,7 a 6,0 Gcal por tonelada de hierro. El costo de inversión es del orden de US\$ 39,00 por tonelada de hierro esponja.

- Procesos en lecho móvil de mineral en trozos o pellets.

- MIDREX, proceso continuo de producción de hierro esponja en horno de cuba vertical con



**FUNDICION MAESTRANZA
SALAS HNOS. S.A.C.I.**

Por más de 30 años
al servicio de la minería
en sus líneas de fabricación
de máquinas chancadoras,
harneros vibratorios, etc.



REPRESENTANTES EXCLUSIVOS PARA CHILE DE:

DENYO CO. LTDA. JAPON



**GRUPOS
ELECTROGENOS**
desde 1 a 450 K.V.A.
Soldadoras Portátiles.
Diesel y gasolina.
Compresores desde 80 a
370 pie 3/min.
Plantas auxiliares de electricidad

**SALESIANOS 537
FONO: 511899**

CASILLA 69, CORREO SAN MIGUEL

movimiento de la carga descendente, utilizando una mezcla de $H_2 + CO$ como agente reductor y térmico. El agente reductor contiene cerca de 70% de H_2 y 20% de CO . La temperatura de reacción es del orden de 980°C. El hierro esponja obtenido tiene un grado de metalización en torno a 88%. Utiliza mineral de hierro en trozos o pellets. El consumo de energía es del orden de 4,0 Gcal por tonelada de hierro. El costo de la inversión es del orden de US\$ 35,00 por tonelada de hierro esponja.

- PUROFER, proceso continuo de producción de hierro esponja en horno de cuba vertical con movimiento de la carga descendente, utilizando como agente reductor una mezcla de $H_2 + CO$. El agente reductor circula en contra corriente con la carga de mineral de hierro. El gas reductor contiene cerca de 70% de H_2 y 20% de CO . El hierro esponja obtenido puede alcanzar un grado de metalización en torno de 94%. Utiliza mineral de hierro en trozos o pellets. El consumo de combustible es del orden de 3,3 Gcal por tonelada de producto. El costo de inversión estimado es de US\$ 32,00 por tonelada de hierro esponja.
- ARMCO, proceso continuo de producción de hierro esponja en horno de cuba vertical con movimiento de la carga descendente, utilizando como agente reductor una mezcla de $H_2 + CO$ con cerca de 80% de H_2 y 15% de CO . El gas reductor circula en contra corriente con la carga de mineral de hierro. La temperatura del proceso es del orden de 870°C. El consumo de combustible de 2,8 Gcal por tonelada de producto. El costo de inversión es del orden de US\$ 50,00 por tonelada de hierro esponja.

d) Procesos en lecho fluidizado de finos de mineral

- ESSO FIOR, proceso continuo de producción de hierro esponja en operaciones por etapas en lechos fluidizados, utilizando como agente reductor una mezcla $CO + H_2$. El gas reductor circula en contra corriente con la carga. Utiliza finos de mineral de alta pureza. La temperatura de reacción es en torno de 820°C. El hierro esponja obtenido es briqueteado después de la reducción, tiene un grado de metalización entre 90 y 95%. El consumo de energía requerida por tonelada de hierro esponja es del orden de 4,9 Gcal. El capital invertido es del orden de US\$ 50,00 por tonelada de producto.
- NU-IRON HIB, proceso continuo de producción de hierro esponja en operaciones por etapa, utilizando como agente reductor el hidrógeno puro. Se cargan finos de mineral de hierro de alta pureza. La temperatura de reacción es de alrededor de 700°C. El hierro esponja

obtenido es briqueteado después de la reducción y tiene un grado de metalización entre 75 y 92%. El consumo de energía por tonelada de hierro esponja es del orden de 4,9 Gcal.

CONCLUSIONES

Sobre la base de los trabajos consultados es posible extraer algunas consideraciones finales a modo de conclusiones:

Los procesos de reducción directa están sufriendo una serie de cambios y es así entonces que los procesos en horno de cuba, lechos fluidizados y hornos rotatorios seguirán evolucionando. Sin embargo, con la información disponible es posible evaluar en forma relativa, los méritos para cada uno de los procesos. Los avances tecnológicos que se están logrando en la gasificación de carbones con el objeto de generar gas reductor para los procesos en horno de cuba tienen un papel cada vez más importante en la industria siderúrgica.

Los procesos de lecho fluido tienen la ventaja de usar finos de minerales directamente sin necesidad de una aglomeración. No en tanto tienen un alto consumo de combustible y un alto costo de inversión comparado con los otros procesos.

Los procesos en lecho fijo tienen una relativa baja eficiencia térmica, pero su operación es la más simple de todas. Los procesos en horno rotatorio también tienen una baja eficiencia térmica, pero tienen la gran ventaja de usar una amplia variedad de combustibles sólidos.

- En general existirá probablemente la tendencia a separar los suministros de reactivos reductores de las necesidades térmicas.
- Además el mineral de hierro constituye la parte más importante del precio de costo del hierro esponja, es decir la usina de reducción directa debe ser diseñada mucho más en función del mineral que empleará que de los recursos energéticos que se proyecta utilizar
- Lo último es que no cabe comparar solamente procesos de reducción sino más bien vías de producción de acero, de ahí que la tecnología adoptada será una función del proceso de reducción y viceversa. ■■■

BIBLIOGRAFIA

1. "Reducción Directa en América Latina" ILAFA, 1974.
2. "Reducción Directa 1975" Tomos 1 y 2, ILAFA, 1975.
3. Terence E. Dancy, "The Evolution of Iron Making" Met. Trans., 8B, 201-213, 1977.



CONTROL DE CALIDAD



Por Juan A. Valencia V

Para el jueves, es decir mañana, el doctor nos ha dado hora para los niños. Los podrías pasar a buscar y llevarlos, yo los espero allá.

—¿Y tú, no puedes llevarlos?

—Sabes que trabajo al otro lado de Santiago, a ti te queda más cerca. ¡M'hijito, ésta será la última vez!

El cabro mayor tiene nueve años y el cuento de "ésta será la última vez" nació junto con él.

Tuve que poner cara de concreto en la empresa para el permiso, tomar un taxi y llegar con cierto tiempo para preparar a los mocosos. Visita de control con un médico, un ñato que los ve desde que eran terneros, idigo lactantes! y que le tenemos gran confianza.

Cuando llegué a casa estaban pegados a la Tele. Como dicen que soy papá "abuelado" les pasé a cada uno su ropa limpia para que, mientras veían el programa, se cambiaran la ropa.

Llegamos como ingleses, los de antes, exactos a la hora, ime encanta ser puntual! Ya la señora estaba esperándonos. (¡Extraordinario!) Saludos, besitos y asiento. Como todas las salas de espera, pequeña y calurosa, con revista del año de la cocoa y cuadros, siempre hay cuadros, de estilo moderno, de esos que da igual cómo se pongan, menos mal que el pintor se arriesga a firmarlos y así se tiene una guía. La infaltable plantita de interior a la que todos los chicos desean arrancarle una hoja.

También esperaban dos más en empate, dos chicos más chicos cada uno. Los niñitos se desplazaban de la mamá a la mesa de centro y de ella a la planta de adorno, emitiendo toda clase de ruidos guturales.

Nos sentamos con los hijos a nuestro lado y una revista para cada uno. A mí me tocó una que le faltaba la tapa y algunas páginas, era una revista médica. La miro lentamente mientras observo a los cabritos que exploran la

sala y a las mamás que les importa un rábano si los angelitos echan abajo la lámpara o quiebran el vidrio de la mesa de centro, que ya tenía un parche.

Ligerito mis dos chicos han revisado todos los ejemplares de las antiguallas y comienzan a ponerse inquietos. El más chico fue el primero en soltarse y se dirigió a la ventana, después el mayor. Los miro, nada podían destrozar.

El más grande descubre los tirantes de las cortinas. — ¡Rodrigo, deja eso! —Y al otro: — ¡Leonardo, deja eso!

Sigo hojeando la revista. Uno de los pergenios, no sé de qué mamá, me toma la rodilla y me mira como quien se tropieza con un marciano. Como soy caballero, trato de entablar conversación haciéndole las preguntas originales que todo adulto tiene la obligación de hacerles a los macacos:

— ¡Hola!

Guiño de nariz.

— ¿Cómo te llamas?

Sonido gutural, parece que dijo algo así como "togñog"

— ¿Qué edad tienes?

Otro sonido gutural.



— ¡Arturo Joséee... No molestes al caballeroooo..!

Frase de la mamá, era la mamá rubia, pero nada más. No lo llamó y menos se levantó para buscarlo.

Seguimos frente a frente con el chicoco. Me siento obligado por cortesía, de hacerle cariño. Es peor el mocoso quiere sacarme los anteojos.

— Mira hijo, te llama tu mamá. — Pero el pergenio no obedece y la mamá no se da por aludida, debe creer que soy feliz. Me dan ganas de zurrarle una palmadita en el potito (¡al chicoco!), pero me contengo... ¡Una idea genial!

— ¡Rodrigo, lleva al niño a su madre! — Mi hijo lo toma de una mano y con mucho cuidado lo arrastra hacia su progenitora. Las dos mamás se miran e intercambian un mensaje telepático que alcanzo a interceptar. Me creen peor que el abominable hombre de las nieves.

Mi amada esposa que ha seguido con el rabillo del ojo mi aventura en relaciones humanas, me muestra una mona de revista, mientras, para callado, censura mi actitud. Como el asunto es de los más graves, no le doy importancia y llamo a Leonardo que está tratando de subirse por la cortina de la ventana. Como no me hace caso y con el objeto de darle una lección a la mamá rubia, me levanto y tomo al hijo de un brazo, endilgándole un serio: — ¡Te quedas a mi lado y no molestes! Leonardo va a reclamar pero mi mirada lo contiene. Para algunos casos me gasto una mirada caballa. Quiero decir, una mirada fría y recia. Me siento y le pido a mi señora que se preocupe de los chicos, me sonrío y le toma la mano a Leonardo, suavemente. Al mismo tiempo mi percepción extrasensorial intercepta otro mensaje telepático de las mamás, que no me atrevo a reproducir.

Abro nuevamente la revista,

miro la hora, ya van veintisiete minutos, ¡y yo que llegué tan puntual! ¿Por qué hay que pedirle a estos profesionales que nos reserven horas, si después atienden según van llegando?

"Sí, señor, tenemos hora, pero tendría que ser el jueves, pero en la tarde, a las seis, ¿le parece bien?"

Sí, nos parece bien, agradecemos y el día indicado nos rajamos enteros para llegar puntualmente. Saludamos, decimos que estamos citados a tal hora y orgullosos mostramos el reloj. ¡Ni lo miran! Nos preguntan con sarcasmo: — ¿Usted reservó hora, señor? ¿A qué nombre? — Revisan un cuaderno de cien hojas de tapas gruesas y gastadas, después la orden: — Tome asientito, luego lo llamarán. — Lo dicen así chiquitito, para que no



lo encontremos tan larguito. La espera, de acuerdo a mi estadística personal, hasta el presente tiene un promedio de una hora y siete minutos. Cuando se reclama, la respuesta es clásica: "El doctor se atrasó porque tuvo una importante intervención en el hospital". Nos alegramos que haya salvado a un cristiano y nos condenamos a esperar.

La mamá rubia se metió a la consulta y el macaco me disparó una última mirada de desafío. Miro la hora para medir el tiempo y calcular cuándo nos tocará considerando a la otra mamá. Como ya ha pasado media hora y estimando veinte minutos por mamá, la rubia y la morena, nos tocará una espera de hora y diez minutos. Un poco quemado le pregunto a la señora: —M'hijita, ¿a qué hora te citaron? Vamos a tener una espera de por lo menos una hora.

—Hay que tener paciencia. —Me responde. —Ya estamos aquí y con este doctor es muy difícil conseguir hora.

Inclino la cabeza con ganas de echar un garabato y vuelvo a la revista, la leo pero no entiendo nada. Miro los cuadros, tampoco los entiendo. Estoy lateado, no se puede hablar en forma normal, hay que hacerlo cuchicheando, no sé por qué. Me levanto y voy hacia la ventana, mis chicos aprovechan de acercarse también. Miro hacia afuera, menos mal que el paisaje es maravilloso.

Al frente, como a cuatro metros, hay una hermosa pared de adobes que refleja por las arrugas y colorido su antigüedad. El techo es de tejas, hay varias corridas, pero no me dan ganas de contarlas. Es un patio de luz, miro para abajo, parece un basural. ¡Es encantador!

Me dan ganas de subir por la cortina, pero no me atrevo, miro los rieles y los encuentro débiles. Regreso al asiento y reviso todas las revistas, hay una en inglés, la



tomo y la hojeo haciendo como que la entiendo, lástima que no tiene monos. Luego me aburro de hacer teatro y la dejo a un lado. ¡Nunca aprendí el dialecto de chaquespire!

¿Por qué será de esos maridos que le dicen siempre sí a su mujer? Hay una tremenda cantidad de flatos más vivos que yo. Lo compruebo en estas visitas, por diez mamás, solamente dos o tres traen a su medio limón. En las reuniones de apoderados en el colegio sucede igual. Lo malo que a esos tipos no los veo por ninguna parte para preguntarles cómo lo hacen para sacarse los balazos.

Acaba de salir la mamá rubia y se metió la morena. Por lo menos quedamos solos en la espera, ya se puede hablar con confianza y normal. Como soy original, le pregunto a la señora en qué se vino a la consulta y después qué tendré para la comida, y la embarro. Cuando salgamos, debo comprar algunas cosas para llevar tomates, frutas y queso. ¡Quién me manda preguntar! Se me quita algo el apetito.

Se siente un ruido en la puerta, es la mamá morena que se retira. ¡Menos mal que no lateó mucho! Miro el reloj, ha pasado

casi hora y media desde el momento que llegué. ¡Puchas! ¡Le reclamaré al Doctor!

La enfermera anuncia: ¡Señora, ya puede pasar!

Me dan ganas de quedarme sentado, a mí no me dijeron nada de pasar. ¡Como si no existiera!



Mi amada esposa va adelante, saluda al médico, el médico saluda a cada uno de los chicos (titulado en relaciones el chato), yo saludo al médico. Nos ubicamos en una oficina más estrecha, me siento con uno de los campeonos y lo mantengo prisionero.

La señora saca un papel, siempre saca un papel donde anota todas las preguntas que hará al médico. Este se dirige al hijo

mayor y le dice, mientras toma una hoja de papel del archivo, para echarle un vistazo:

—Conque tú eres Rodrigo, ¿cómo estás? te ves muy bien. Señora, por favor sáquele la ropa y déjelo en calzoncillo no más... A ver ya tiene nueve años, pasa a la balanza, muy bien, ahora párate aquí, bien derecho, los talones juntos, eso es. Se dirige al papel y hace las anotaciones respectivas.

—Está muy bien este chico señora, para la edad, la estatura y el peso corresponden a un niño dos años mayor —La señora sonríe de oreja a oreja. Yo también.

—Vamos hijo, súbete a la camilla, tiéndete de espalda, así, relájate.

Lo comienza a toquetear después lo ausculta, toma una tablilla de un sobre de plástico, le pide que abra la boca y le introduce la tablilla. —Di, ¡ah! —Aghgg... le contesta Rodrigo. —Muy bien, estás muy sano, te felicito, ya puedes vestirme. —Nos volvemos a sentir orgullosos.

La misma operación se repite con Leonardo, mientras yo lucho con Rodrigo para que se vista y no tome el abrecartas del escritorio. ¿Por qué todos los médicos tendrán un abrecartas con una hermosa forma de puñal? Todo los chicos se emocionan al verlo y desean conquistarlo.

Mientras la señora viste al más pequeño y yo mantengo a raya al otro, el médico termina de hacer anotaciones en las tarjetas. Posteriormente, mi amada esposa inicia la lectura del papeliito y comienza a preguntar:

—Dígame doctor el más chico, Leonardo, no puede comer chocolate, es alérgico y se le llena el cuerpecito de erupciones. También estornuda mucho, ¿qué será? Además es mañoso para comer si no se le reta, puede pasar tres horas frente al plato y no come nada, es desesperante,



solamente come lo que le gusta. (¡Tiene personalidad este pergenio, yo quisiera hacerlo igual a veces!) Rodrigo, el más grande (el doctor lo mira para ubicarlo) es demasiado sensible, por todo llora, ve mucha televisión, ¿es malo? en el colegio va bien.

Esto es lo que admiro en este viejo, la paciencia para escuchar todas las disertaciones. Pone la cara sonriente y mira a la mamá, a los chicos y a veces a mí. No mueve un músculo de su cara, ¡y no la interrumpe! le da en el gusto de escucharle todo. Cuando termina la lectura del papeliito, el médico se endereza y responde:

—Lo que usted me dice señora, es normal, si al chico le brota todo lo que contenga chocolate, suprimalo. El tratamiento para evitar reacciones alérgicas es

muy largo y no es aplicable a un niño de corta edad. Lo de mañoso para la comida tiene un remedio sencillo, ¡no le dé comida! Se sienta a la mesa y transcurrido el tiempo normal, se le retira el plato, aunque no haya comido nada. Pero es muy importante que entre las comidas no coma golosinas. Este es el mejor tratamiento, al segundo día los chicos se devoran los platos. Lo malo es que nunca los padres tienen la fortaleza suficiente para llevarlo a efecto.

La sensibilidad del mayor no es una enfermedad, es una característica que bien encauzada puede significar un artista en la familia. Por lo demás sus chicos, están muy sanos, da gusto un niño así. ¡Supiera lo que me toca ver en el hospital! Y no olvide, señora, los niños igual que los grandes, alguna vez se enferman también y hay enfermedades que es preferible que el ser humano las tenga de niño, los estragos que le pueden causar a un adulto son irreparables.

Se levanta y nosotros también. Nos da la mano y muy sonrientes nos despedimos felices. ¡LOS CABROS ESTAN BIEN!

¡Puchas, me olvidé de reclamar por la impuntualidad!





Ing. Jaime Rauld Faine
Profesor Jornada Completa
Departamento de Metalurgia UTE.

UNA REVISION DE LOS NUEVOS PROCESOS UNITARIOS EN LA METALURGIA EXTRACTIVA DEL COBRE

El principal objetivo de esta sección de la revista CONTACTO es la divulgación, en una forma simple de los progresos logrados en todo el mundo, en los distintos campos de la Metalurgia. Así un mayor número de lectores pueden tener más al alcance la información que, aún con cierto atraso dispone la Universidad. En esta ocasión, intentaremos hacer una rápida revisión de los procesos extractivos más nuevos en la metalurgia del cobre, haciendo hincapié en las

condiciones en que estos pueden ser aplicados y abarcando tantos procesos como sea posible, aunque su discusión deba ser, necesariamente superficial. Para aquellos lectores que deseen profundizar en algunos tópicos aquí expuestos, se incluye una pequeña bibliografía.

Para abordar el presente tema podemos decir que la metalurgia extractiva del cobre, así como la de otros metales no ferrosos, se encuentra en crisis en los países desarrollados. Afortunadamente, por

ahora, esta crisis no ha tenido un impacto tan grande en nuestro país debido a sus características peculiares y también a su condición de país subdesarrollado. Sin embargo, para nadie es un misterio que el futuro nos depara, en este sentido, los mismos problemas que actualmente tiene el mundo desarrollado y para lo cual debemos estar preparados.

Esta crisis tiene varios aspectos; en primer lugar está la crisis energética ocasionada por las alzas y el acceso al petróleo. En segundo lugar y tanto o más importante que el primero, es el problema de la contaminación ambiental, producida especialmente por el dióxido de azufre. Esto es debido a que las principales fuentes minerales para los metales no-ferrosos son los sulfuros. También está el problema económico que significa la alta inversión de las plantas pirometalúrgicas tradicionales para una producción dada; así como el excesivo costo de producción ocasionado por los altos precios de los insumos, el escaso control de los procesos y el uso de minerales con leyes cada vez más bajas y que antes eran descartados.

El mayor interés actual del metalurgista extractivo del cobre en el desarrollo de una planta productiva, es la selección de un "proceso integrado" adecuado a las condiciones particulares en que se desenvolverá esta labor y que no tenga, o los tenga en un grado menor, los problemas planteados arriba. Para lograr esto, el ingeniero metalúrgico cuenta con una serie de "procesos unitarios" que ya se han desarrollado, a escala industrial o piloto, o que están en vías de desarrollo. Estos procesos unitarios tienen la función de transformar, a través de reacciones químicas y/o cambios de fase, los compuestos que contienen el metal valioso dejándolo más concentrado debido a la eliminación de las impurezas. En ciertos casos este sencillo concepto se ve un tanto complicado por la posibilidad de extraer más de un metal valioso a la vez. La concatenación adecuada de estos procesos unitarios, en serie y en paralelo o en forma simultánea, conduce finalmente al proceso integrado que tiene como objetivo, la obtención de un metal útil para el hombre.

Según el carácter de estos procesos unitarios se pueden, en la práctica, dividir en tres grupos: si el proceso se realiza a temperaturas altas, usualmente entre 400 y 1.700°C, se le denomina "pirometalúrgico" si el proceso involucra soluciones acuosas y temperaturas cercanas a la ambiente, se llama "hidrometalúrgico" y si en él hay involucrada una corriente eléctrica, el proceso es "electrometalúrgico". En lo que sigue se revisarán los principales procesos unitarios en la metalurgia del cobre en cada uno de los casos.

A. PROCESOS HIDROMETALURGICOS

Los procesos hidrometalúrgicos en la industria del cobre presentan una serie de ventajas con respecto a los pirometalúrgicos, aunque estos últimos todavía son muy competitivos. Las ventajas de la hidrometalurgia pueden resumirse en los siguientes puntos: (a) el azufre proveniente de los sulfuros se obtiene en una solución condensada y no diluida en un gas contaminante, (b) por ser a bajas temperaturas se requiere menor uso de energía térmica, (c) se pueden usar los más modernos métodos de control de procesos, lo que redundará en una operación más eficiente, (d) se pueden tratar minerales de muy baja ley y (e) se requiere menores costos de inversión en equipos. Una excelente revisión sobre la hidrometalurgia de concentrados de cobre fue realizada por Ugarte¹. Los siguientes procesos han sido descritos hasta ahora en la literatura.^{2,3,4}

Lixiviación Bacteriana:

El tratamiento de minerales de baja ley, relaves y ripios, que hasta ahora eran productos de descarte, por medio de una lixiviación *in situ*, actualmente es un método totalmente adquirido para la recuperación de cobre. Los minerales sulfurados son oxidados por una solución de sulfato férrico, con disolución de cobre y una reoxidación del hierro ferroso producido, lo cual ocurre rápidamente debido a la presencia de ciertos tipos de bacterias en el agua.⁵ El líquido conteniendo ácido sulfúrico y las sustancias nutrientes necesarias para el desarrollo y reproducción de los microorganismos, es introducido en el cuerpo mineral a través de perforaciones desde donde percola lentamente hasta que es recogido en los túneles. Cuando el líquido no fluye con facilidad en los huecos, el mineral puede ser removido usando explosivos.

La importancia de la lixiviación *in situ* tiene dos aspectos. En primer lugar, puede incrementar mucho la cantidad de metal que se puede obtener de un mineral dado. En segundo lugar, en este tipo de lixiviación no es necesario mover grandes cantidades de material estéril y por lo tanto, los costos de producción se reducen a los reactivos, el bombeo de soluciones y la precipitación posterior. El cobre puede ser recuperado desde el líquido por cementación, ya que se producen soluciones muy diluidas. En Chile este proceso ha sido evaluado para ser utilizado en la mina vieja de Potrerillos⁶ y en Andacollo, donde se dan condiciones naturales para aplicar esta técnica.⁷

La excesiva dilución de las soluciones se pueden

evitar con el uso de la lixiviación por capa fina.

Lixiviación Amoniacal:

Como se sabe, los compuestos sulfurados de cobre, especialmente la calcopirita son de baja solubilidad en las soluciones normales de lixiviación, por lo tanto, no se puede adoptar para ellos un tratamiento hidrometalúrgico clásico. De allí entonces la importancia de desarrollar nuevos métodos de lixiviación utilizando reactivos no tradicionales. Uno de los procesos más conocidos para este efecto es la lixiviación amoniacal.

La lixiviación amoniacal consiste en disolver los sulfuros metálicos en soluciones amoniacales, bajo condiciones adecuadas de temperatura, presión de oxígeno y concentración de hidróxido de amonio. El proceso se ha utilizado comercialmente por algún tiempo por la Sherritt Gordon Mines Ltda. La mayor ventaja de esta técnica es su selectividad, en particular, la eliminación del hierro. La principal desventaja estriba en el hecho de que todo el azufre del mineral es convertido a sulfato de amonio que debe ser desechado, encareciendo el proceso.

Ultimamente se ha informado de un proceso⁸ donde el mineral se lixivia en una autoclave en presencia de CaO en cuyo caso el azufre queda formando CaSO_4 y el hidróxido de amonio es recuperado como tal.

Lixiviación con Cloruro Férrico:

Se conoce muy poco acerca del desarrollo del proceso de lixiviación con cloruro férrico y hasta ahora no ha sido implementado a escala industrial. La mayor parte de la información al respecto se encuentra en la forma de patentes. Se sabe que la extracción es muy alta (99.95%) y que la pirita y la molibdenita son inatacadas. El cobre puede obtenerse en la forma de cristales de CuCl purificados, los cuales pueden ser reducidos posteriormente. La factibilidad económica de este proceso podría llegar a ser posible dependiendo de las etapas subsiguientes así como de la recuperación del hierro en una cantidad aceptable⁴.

Lixiviación Sulfúrica a Presión:

Se sabe de un trabajo reportado en este sentido⁹, estos autores utilizaron un sistema a presión en condiciones oxidantes y con una solución de ácido sulfúrico diluido. El cobre fue obtenido en solución, mientras que el hierro pasó a formar un hidróxido y el azufre quedó en la forma elemental. Que se sepa, este proceso no ha pasado

más allá de la escala de laboratorio. El inconveniente más grande notado, es la lentitud de las reacciones, lo que obliga a mantener por largos períodos la lixiviación a presión. Esto obliga a usar presiones más altas de oxígeno y en una proporción mayor que la del aire.

Lixiviación con Cianuro:

El cianuro tiene desde el punto de vista de la hidrometalurgia del cobre dos aplicaciones potenciales. En el primer caso, el cianuro en la forma de ácido cianhídrico puede ser usado, en conjunto con anhídrido sulfuroso para precipitar cobre desde soluciones diluidas de sulfato de cobre. El cobre queda en la forma de cianuro de cobre, que puede ser reducido con hidrógeno regenerando completamente el ácido cianhídrico (Proceso Treadwell).

En segundo lugar, la mayor parte de los minerales de cobre son solubles en cianuro de sodio, por lo cual este puede ser empleado como lixivante¹⁰. Sin embargo, y tal como se reporta en la ref. 10, el rendimiento de la lixiviación de la calcopirita y la bornita es muy pobre, en el primer caso por la baja solubilidad y en el último por problemas de orden cinético.

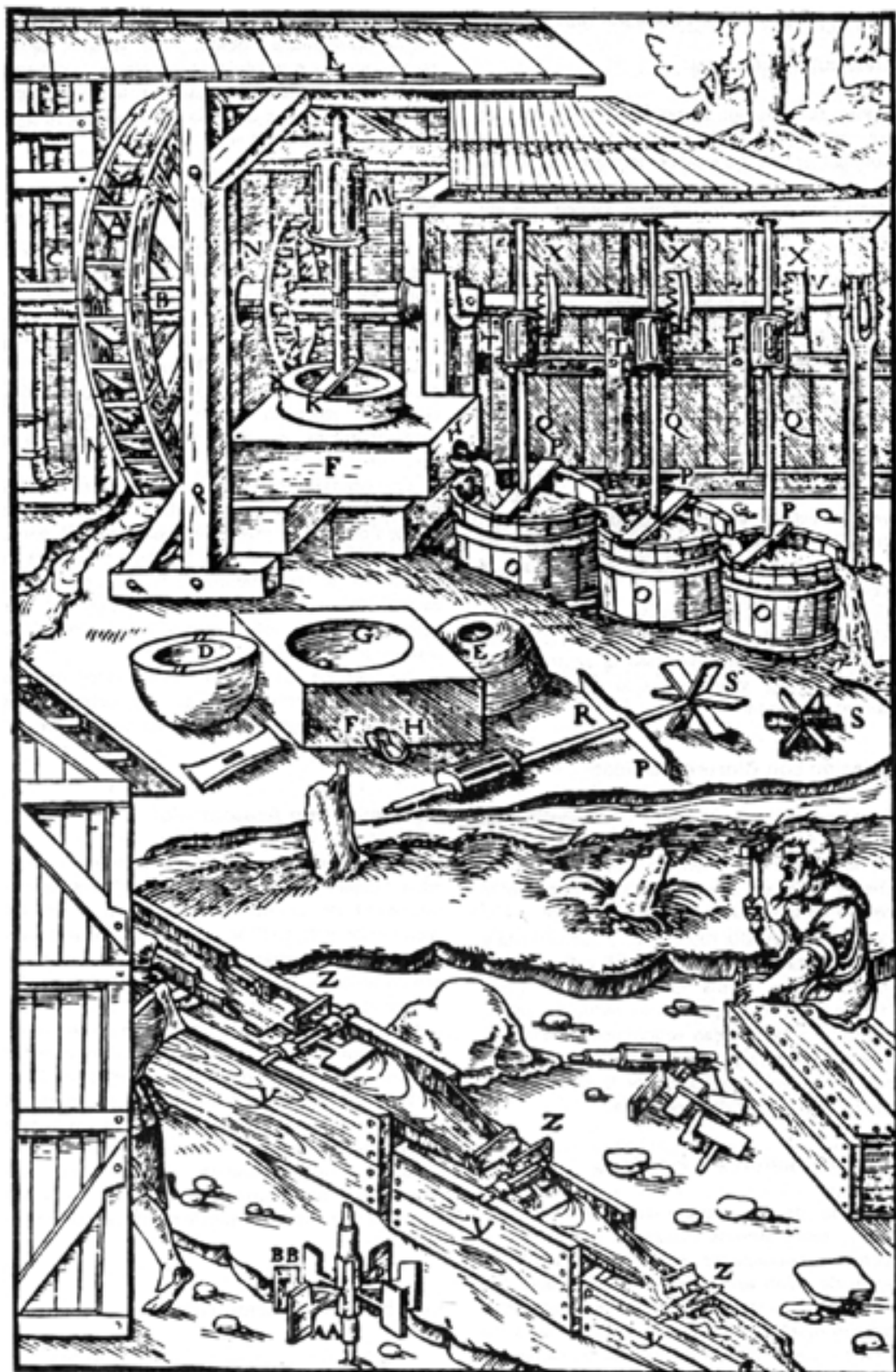
Ninguno de los procesos mencionados ha sido adoptado comercialmente, tal vez debido a los problemas de seguridad industrial que presenta el cianuro.

Lixiviación con Acetonitrilo:

Minerales sulfurados de cobre conteniendo calcocita, digenita o bornita pueden ser tratados con soluciones de sulfato de cobre en presencia de acetonitrilo (CH_3CN), lo cual produce una disolución del cobre contenido en los minerales. Esto es, debido a que el acetonitrilo forma fuertes complejos con el ión Cu^+ , de tal manera que los iones Cu^{++} se convierten en agentes oxidantes en presencia de este compuesto. Una vez obtenida la disolución el acetonitrilo puede ser destilado y la reacción $2\text{Cu}^+ = \text{Cu} + \text{Cu}^{++}$ produce un precipitado de cobre en polvo muy fino y puro¹¹. Una variedad de este proceso es la lixiviación de un mineral oxidado con dióxido de azufre disuelto en agua junto con acetonitrilo para formar el complejo cuproso. También una tostación previa puede ser considerada.

Lixiviación con Ácido Nítrico:

El ácido nítrico diluido oxida los sulfuros de



cobre contenidos en el mineral para dar nitrato de cobre y azufre elemental y si la reacción se lleva hasta que la concentración de ácido remanente es muy baja, el hierro aparece como hidróxido férrico¹². Sin embargo, el cobre no puede ser recuperado desde las soluciones nítricas por electrólisis y por esto el proceso no ha sido usado en la producción de cobre.

Extracción por Solventes:

Uno de los desarrollos más importantes en la hidrometalurgia del cobre ha sido la introducción de los compuestos extractantes, de los cuales la serie de los lix es el mejor ejemplo. Estos reactantes tienen la capacidad de extraer selectivamente el cobre de soluciones ácidas con pH alrededor de 2. En todo caso, si la extracción por solventes es usada para extraer un metal es necesario tener el metal en solución, esto es, algún tipo de lixiviación debe ser usado previamente.

El paso controlante de estos procesos es el tiempo necesario para lograr la separación de las dos fases. Así el tiempo de residencia en el mezclador es generalmente de dos minutos, mientras que en el decantador es mucho mayor. Ultimamente se están desarrollando métodos para lograr la coalescencia de la fase dispersa, tal como el sistema DC Knitmesh¹³. Aparte de esto, el desarrollo de la extracción por solventes se dirige hacia la síntesis de extractantes que mejoren la selectividad y el rango de operación del proceso.

B. PROCESOS ELECTROMETALURGICOS

La mayor parte de los procesos sustitutivos de la fusión de concentrados de cobre involucran una recuperación electrolítica como el paso lógico posterior a las etapas hidrometalúrgicas. Un ejemplo de esto es el proceso integrado "CYMET", en este los concentrados calcopiríticos son lixiviados con cloruro férrico; posteriormente, la solución overflow es electrolizada en el compartimiento del cátodo de una celda de diagrama para producir polvo de cobre, el cual es briquetado y electrorrefinado. El compartimiento del ánodo que contiene underflow, produce azufre elemental.

Electro obtención de Cobre de Soluciones de Extracción por Solventes.

Los electrólitos usados en la electro obtención

tradicional de cobre contienen menos de 50 g/l de ácido sulfúrico "libre" y son fuertemente contaminados con hierro. El proceso de extracción por solventes produce un electrólito que contiene 150 g/l de ácido sulfúrico "libre" y menos de 3 g/l de hierro. Esta solución puede ser más fácilmente electrolizada, pero algunos problemas se presentan¹⁴. En primer lugar, la fase orgánica atrapada puede formar depósitos desmenuzables con cobre en el cátodo (quemado orgánico). En segundo lugar, una mayor concentración de ácido produce una mayor emanación de ácido y, finalmente, esta concentración de ácido tiende a atacar los ánodos de plomo produciendo un cobre catódico contaminado en este elemento. Las soluciones para disminuir la evaporación de ácido tales como el uso de materiales orgánicos o el uso de esferas plásticas han aumentado el quemado orgánico. Una probable solución al quemado orgánico es el que el electrólito se mantenga en continuo movimiento. El ataque de los ánodos puede ser prevenido por el uso de bolsas plásticas porosas alrededor del ánodo, lo que también disminuye la emanación de ácido¹⁵. Otra posible solución es usar ánodos de plomo recubiertos con un conductor inerte tal como MnO_2 , o ánodos de $Pb-10\% Ag$, $Pb-Bi$ o también no usar ánodos de Pb , sino uno de MnO_2 impregnado en titanio.

Electrólisis de Sales Fundidas

El cobre puede ser electro obtenido a partir de la electrólisis de Cu_2S o matas de Cu_2S-FeS disueltas en un baño de $CuCl$ a $450^\circ-500^\circ C$ ¹⁶. Además, las matas Cu_2S-FeS pueden ser disueltas con $CuCl$ fundido y la solución en $CuCl$ resultante, rica en hierro, es tratada por extracción por solventes y electrolizada para dar cobre.

Alta densidad de Corriente

Desde hace mucho tiempo que se vienen buscando métodos para aumentar la densidad de corriente en las celdas de refinado de cobre o de electro obtención. El método más conocido siendo el PRC (corriente periódicamente reversa). Un nuevo intento para alcanzar una alta densidad de corriente es el uso de electrodos de lecho fluidizado¹⁷. En efecto, lo que se busca en este caso es reducir el espesor de la capa límite difusora en la superficie del electrodo. Otros métodos más convencionales son, la agitación por aire y la circulación violenta del electrólito. Por la técnica PRC se han logrado densidades de corriente de $300-340 A/m^2$. Otro método que se ha intentado



en estos casos es el uso de agitación ultrasónica¹⁸ sin embargo, el costo de producir ultrasonido es todavía demasiado elevado para los resultados que se pueden lograr.

Fabricación de Hojas Madres

La fabricación de hojas madres ha sido simplificada por el uso de hojas de partida de titanio con los bordes protegidos por un polímero aislante. Las hojas de titanio son reutilizables, lo cual permite su uso industrial, a pesar del alto costo de inversión. Una mejora del método tradicional se ha sugerido a través del uso de un recubrimiento de las hojas de cobre formado de 50% de alcohol hexadecyl emulsificado con 10% de benzenosulfonato de sodio en agua caliente, al cual se le añade 0,10% ácido mercaptopropiónico. Este actúa como una capa de partida entre el cátodo de cobre y la hoja madre¹⁹.

C. PROCESOS PIROMETALURGICOS

El desarrollo de procesos hidrometalúrgicos

competitivos para el tratamiento de concentrados de sulfuros de cobre ha sido una labor muy ardua debido a que los procesos pirometalúrgicos presentan ventajas inherentes que los hacen ser económicamente óptimos. Estos son a grandes rasgos:

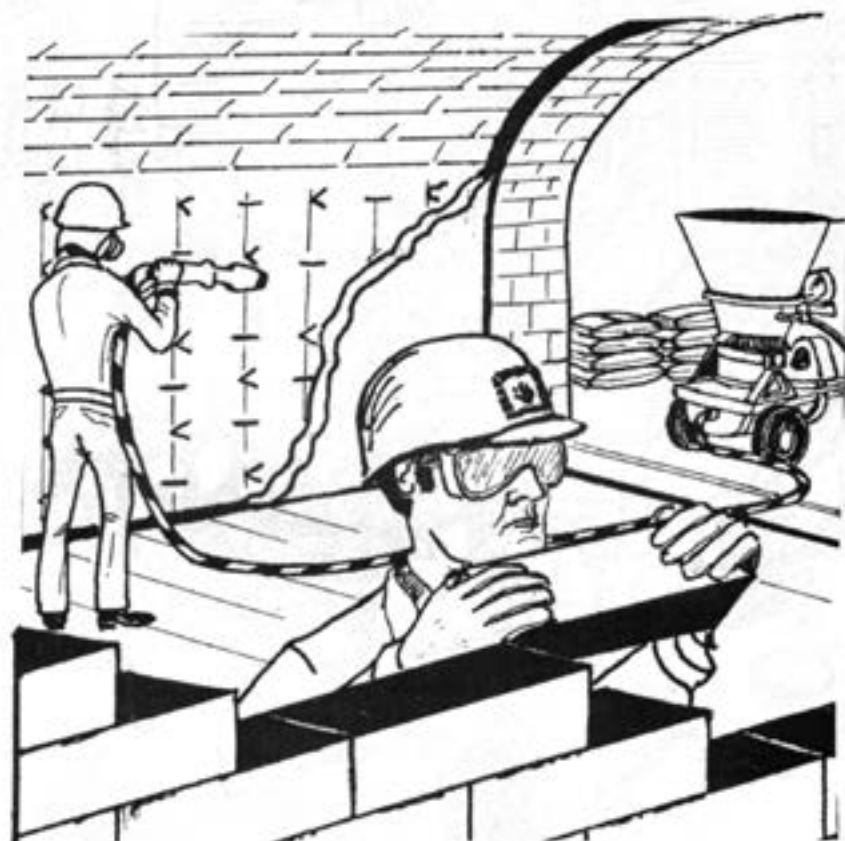
1. Ventajas Térmicas: Las oxidaciones del azufre y el hierro pueden ser llevadas casi en forma autotérmicas bajo condiciones adecuadas de diseño.
2. Velocidades de reacción muy rápidas.
3. No utilizan reactantes caros.
4. Alta recuperación metálica.
5. Recuperación de metales preciosos. Debido a la característica de solvente que tiene la mata.
6. Tratamiento de concentrados de diversos orígenes y estructuras.

El tratamiento pirometalúrgico tradicional consistente de tostación-fusión-conversión para la producción de cobre ha sido objeto de grandes modificaciones, debido a la presión contra la contaminación ambiental y a la necesidad de disminuir los costos frente a un mercado deprimido. Los esfuerzos realizados para solucionar los problemas de la pirometalurgia se han dirigido básicamente hacia tres metas: desarrollo de proce-



REFRACTARIOS CHILENOS S.A.

FABRICANTES DE LA LINEA MAS COMPLETA DE
REFRACTARIOS DEL PAIS.
LADRILLOS Y ESPECIALIDADES
BASICOS • ALTA ALUMINA • SILICO ALUMINOSOS
CARBURO DE SILICIO • AISLANTES
FIBRAS CERAMICAS.



Y AHORA TAMBIEN LE SERVIMOS
EN INGENIERIA CONSTRUCCION
Y MANTENCION REFRACTARIA.

PANAMERICANA NORTE 3076
CASILLA 1335 SANTIAGO
FONO 771305 STGO.

ASOCIADA A:
HARBISON WALKER REFRACTORIES
DIVISION DE DRESSER INDUSTRIES INC.



tos continuos, fusión flash y mejoras al tratamiento tradicional fusión-conversión.

Procesos Continuos

El principal problema de realizar la operación en forma continua, estriba en el hecho que las pérdidas de cobre en la escoria se hacen prohibitivamente altas y un método para su recuperación debe ser desarrollado.

El proceso NORANDA^{20/21} que se puso en operación comercial en 1973, funde concentrados en un reactor muy similar al convertidor Pierce-Smith, pero más largo. Mata, metal blanco o cobre pueden ser producidos por soplado de aire común o enriquecido con oxígeno por medio de toberas colocadas a lo largo del reactor. La escoria contiene del orden de 10-12% Cu, la cual es tratada por molienda y flotación hasta llegar a un contenido de 0,50/o.

En los procesos WORCRA^{22/23} y Q-S²⁴ (Que-neau-Schuhmann) el concentrado es introducido al reactor más o menos en la mitad del reactor, produciendo una mata y una escoria que viajan en direcciones opuestas y la mata es soplada a blister, ya sea con lanzas en el tope (WORCRA) o por soplado con oxígeno por el fondo (Q-S). El SO₂ puede ser recirculado una vez enfriado para refrigerar las toberas. En estos dos procesos, la escoria es tratada en una zona reductora para bajar el contenido de cobre a un nivel aceptable: 0,50/o en el WORCRA y 0,20/o en el Q-S. La planta piloto usada para desarrollar el proceso WORCRA dejó de funcionar en 1970.

El proceso MITSUBISHI²⁵ usa reactores separados para la fusión del concentrado a mata y la conversión de la mata en cobre blister, la escoria y la mata fluyen en contracorriente. Todavía otro horno es usado para reducir el contenido de cobre de la escoria. Este proceso tiene su mayor ventaja en la alta automatización alcanzada.

Con relación al énfasis que se pone en los procesos continuos desarrollados en la pirometalurgia del cobre, siempre ha resultado difícil de entender que en una rama mucho más estudiada y comprendida como es la fabricación del acero, haya sido descartada la alternativa continua, frente a los convertidores al oxígeno que operan en forma Batch. Un par de razones, probablemente explican, en parte, que en la fusión de cobre algún tipo de beneficio puede resultar de los procesos continuos; una de ellas es que la producción continua de un gas rico en SO₂ es fundamental para una planta de ácido sulfúrico y la otra es que un convertidor al oxígeno para cobre es mucho

más caro y más complicado que el LD y por lo tanto menos atractivo. En este sentido vale la pena señalar que INCO ha desarrollado, para la conversión de matas de cobre-níquel un reactor rotatorio soplado por el tope similar al proceso KALDO de los aceros (TBRC)^{26/27}

Fusión Flash

Los procesos de fusión flash, que utilizan el azufre de los concentrados como combustible para reemplazar todo o parte del combustible necesario para la fusión del concentrado, se pueden dividir en dos grupos, aquellos que usan oxígeno puro y aquellos que usan aire precalentado o aire enriquecido, siendo los ejemplos más típicos de tales procesos, el INCO²⁸ y el OUTOKUMPU^{29/30}

Estos procesos son quizás en este momento los más atractivos para ser instalados en plantas nuevas, donde una conversión tradicional va a ser usada después. Las ventajas más notables de estos procesos son: el ahorro de energía y el aumento considerable de la velocidad de fusión. Por ejemplo³¹, una planta tradicional que trabaja con concentrados de alta ley y que tiene una producción de 0,56 toneladas de concentrado por día y por m³ de reactor tiene un consumo energético de 6,2GJ/ton y produce un gas que contiene 1 a 50/o de SO₂. Una fusión flash, cualquiera de los dos tipos, puede tener una capacidad de 1,4 a 1,7 ton por día y por m³ de reactor y un consumo energético de 1,6GJ/ton de concentrado. En el caso de INCO, el gas de salida puede contenerse hasta un 80/o SO₂. Las ventajas son evidentes.

Mejoras al Proceso Tradicional

Sin duda alguna, la principal mejora al proceso pirometalúrgico tradicional ha sido la utilización masiva de oxígeno en todas las etapas de producción. El reverbero, que tiene una pequeña productividad y un gas de salida pobre en SO₂, así como un gran consumo energético, ha sido el más favorecido por el uso de oxígeno o aire enriquecido con oxígeno.

En general, las mejoras más sustanciales al proceso tradicional han sido: uso de quemadores oxígeno-petróleo en el reverbero, enriquecimiento con oxígeno del aire de los convertidores y uso del sistema Hoboken en los convertidores.

Finalmente, cabe hacer notar que debido a los

problemas engendrados por el petróleo, actualmente resulta muy atractivo el uso de carbón pulverizado, a pesar de los problemas que ello acarrea y está siendo usado en varias fundiciones en el mundo. Por la misma razón, desde hace un tiempo, en algunos países donde se dan las condiciones para ello, se está empleando la fusión de concentrados en hornos eléctricos.

Por último, es importante señalar que un gran número de procesos pirometalúrgicos gas-sólido se están desarrollando actualmente en el mundo, que unidos a las adecuadas etapas hidrometalúrgicas, podrán llegar a ser en el futuro competitivos con la pirometalurgia tradicional debido en gran parte a su versatilidad. ■■■■

REFERENCIAS

1. G. Ugarte, *Minerales*, 1973, 21, 28.
2. K.N. Subramanian y P. Sennings, *Can. Met. Quart.*, 11,2 (1972).
3. A.R. Burkin, *Int. Met. Rev.*, Sept. 1976, 118.
4. E. Peters, *Met. Trans. B*, 7B, Dic. 1976, 505.
5. J. Torreblanca, *CONTACTO* N° 3, Julio 1977.
6. F. González; en *Investigaciones Mineras y Metalúrgicas 1976*, CIMM, marzo 1977, pág. 133.
7. F. González, Y. Titado, C. González, en *Investigaciones Mineras y Metalúrgicas 1976*, CIMM, marzo 1977 pág. 133.
8. A. Fonseca, *CIMM Bulletin*, julio 1974, 105.
9. A. Vizsolyi, H. Veitman, I. Warren y V. Mackiv, *J. Metals*, 19, 1967 52, 59.
10. G. Lower y R. B. Booth, *Min. Eng.* 17 1965, 56.
11. A.J. Parker, *Search*, 1973, 4, 426.
12. G. Bjorling y G.A. Kolta, "Proceeding of the 7th International Mineral Processing Congress" 127, 1964, New York, Gordon and Breach.
13. I.D. Jackson, et al. "Symposium on Hydrometallurgy" series N° 42 paper 15, 1975, London, Institution of Chemical Engineers.
14. W.R. Hopkins et al. "2nd. International Symposium on Hydrometallurgy, 127, 1973, New York, AIME.
15. G. Eggert y D. Nader, *Chem and Ind*, 1975 (9), 389.
16. A.K. Garbee y S.N. Flengas, *J. Electrochem. Soc.*, 1972, 119, 631.
17. J.A.E. Wilkinson y K.P. Haines, *Trans. Inst. Min. Met.*, 1972, 81, C157.
18. G. Eggert et al. "Symposium on Hydrometallurgy" series N° 42, 27, 1975, London Inst. of Chem. Eng.
19. E.M. Elkin, German Patent N° 1533443, 1972.
20. G.C. Mc Karrow et al. "El futuro de la pirometalurgia del cobre" (ed. Carlos Díaz), 121, 1974, Instituto de Ingenieros de Minas.
21. N.J. Themelis y G.C. Mc Karrow, "Advances in Extractive Metallurgy and Refining" (ed. M.J. Jones) 3, 1974, London Inst. of Mining and Metallurgy.
22. H.K. Worner y B.S. Andrews, "El futuro de la Pirometalurgia del Cobre" 133.
23. H.K. Worner et al. "Advances in Extractive Metallurgy and Refining" 39, 1974, London, Inst. of Min and Met.
24. P.E. Queneau y R. Schunmann, *J. Metals*, 1974, 26 (8), 14.
25. T. Suzuki, "El futuro de la Pirometalurgia del Cobre" 107 op. cit.
26. P. Queneau et al. *J. Metals*, 1969, 21 (7), 35.
27. Can Mach. Metalwork, 1973, 84 (11), 40.
28. Meria et al. 101 st AIME Annual Meeting, Feb. 1972.
29. Laurila, "El futuro de la Pirometalurgia del Cobre" 47, op. cit.
30. Y. Kubota y M. Yasuda, "Pyrometallurgical Processes in Metallurgy" (Ed. J.N. Anderson), 155, 1967 New York, Gordon and Breach.
31. H.H. Kellogg, "El futuro de la Pirometalurgia del Cobre" 17 op. cit.



GEOEXPLORACIONES LTDA.

Galvarino Gallardo 1841 Fono 256099
Telex SGO 260 - Santiago-Chile



GEOEXPLORACIONES

GEOFISICA APLICADA A PROSPECCIONES MINERAS
OBRA DISMINUCION EN LA TASA DE RADIACION RADIOACTIVA METALICOS
GEOFISICA APLICADA A PROSPECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS
PROFUNDIDAD DE LA CUENCA PROFUNDIDAD DE LA NATURALIDAD DEL AGUA
GEOFISICA APLICADA A OBRAS DE INGENIERIA CIVIL Y MINERIA
TUNEL ESTADISTICA Y CONSTRUCCIONES
SISMICA • RESISTIVIDAD • POLARIZACION INDUCIDA • POLARIZACION ESPONTANEA
MAGNETOMETRIA • GRAVIMETRIA • ELECTROMAGNETISMO • RADIONOMETRIA
REPRESENTACIONES • SERVICIOS • REPARACION DE INSTRUMENTOS
ASESORIAS • TOPOGRAFIA • TRANSPORTE • ANTEPROYECTOS • ENTRENAMIENTOS



INFRAESTRUCTURA DE APOYO TECNICO A LA INVESTIGACION Y AL DESARROLLO EXPERIMENTAL EN LAS UNIVERSIDADES CHILENAS

V Encuentro Nacional de Vicerrectores
y Directores de Investigación de las Universidades Chilenas,
celebrado en Santiago los días 17 y 18 de agosto de 1979,
Casa Central Universidad Católica

Hugo Levy Salazar
Director de DICYT (UTE)



Mucho se ha estudiado y analizado las causas del retraso científico-tecnológico de los países en desarrollo. En base a estos estudios y análisis se ha tratado de planificar su avance, considerando parámetros de tipo académico, administrativo y financiero que incluyen, entre otros, factores tales como el perfeccionamiento de investigadores, la formación

de grupos de masa crítica para impulsar líneas de investigación bien definidas, y la asignación de presupuesto mediante concursos de proyectos para apoyar programas determinados, relacionando la oferta y demanda tecnológica del país. Pese a estos esfuerzos, aún no se consiguen éxitos significativos al respecto.

No obstante, dentro de los elementos considerados muy ra-

ra vez se ha hecho mención y concretado esfuerzos sistemáticos para impulsar un factor que —a mi juicio— es fundamental, como es el apoyo técnico, creativo, a las actividades de investigación y desarrollo experimental, a través de una infraestructura eficaz, con personal altamente especializado.

De allí que, en esta oportunidad, sin dejar de considerar la

importancia de los aspectos tradicionales ya enunciados, nos abocaremos especialmente al análisis y búsqueda de alternativas que tiendan a fomentar planes cuya finalidad sea la consecución de este tipo de apoyo. Es decir, concentraremos nuestra atención hacia los márgenes del quehacer científico-tecnológico y hacia la infraestructura de la investigación y desarrollo experimental en sí, a fin de realizar un diagnóstico, detectando sus debilidades, e intentar —posteriormente— diseñar estrategias para su fortalecimiento.

Diagnóstico de la Realidad Actual

En primer término, debemos estar conscientes que la tarea de construir una capacidad científico-tecnológica, que tenga incidencia en el progreso cultural, social y económico de los países en desarrollo es más difícil de lo que se supone. Esto es especialmente crítico en el caso del progreso industrial.

Al respecto, existen factores de importancia que obstaculizan el diseño de estrategias que promuevan un avance en la creación de esta capacidad, como es la fuerte influencia cultural que en estos aspectos tienen los países desarrollados, los que dada su vasta experiencia en este campo, ya han superado largamente etapas que, para naciones como la nuestra, aún deberían ser materia de estudio y que, en general, en nuestros análisis apenas se mencionan. Del mismo modo, han influido las disciplinas tradicionalmente prominentes en los países subdesarrollados, que poseen características muy especiales que no pueden ser generalizadas ni aplicadas al resto de las áreas del conocimiento. Estos y otros fundamentos análogos impiden una visión clara de los problemas reales que enfrenta el quehacer científico, sobre todo

aquel de carácter experimental, que al fin y al cabo es el que vincula en forma real el conocimiento científico con el saber-hacer tecnológico.

En este contexto, es evidente que, en estos países en desarrollo, además de existir una actividad muy escasa en investigación y desarrollo experimental, también se detecta una carencia extrema de personal de apoyo técnico a estas actividades, específicamente de nivel medio, para favorecer su infraestructura otorgando servicios tales como: laboratorios de precisión mecánica, soplado de vidrio, electrónica para instrumentación científica e industrial, análisis químicos, ensayo de materiales, mantenimiento de equipos e instrumentos y otros servicios afines. Esta insuficiencia también se refleja con el personal necesario para diseñar y hacer funcionar los mecanismos de información y difusión, recolección y procesamiento de datos y para apoyar la captación de asistencia y cooperación técnica internacional, y el manejo de las finanzas en ciencia y tecnología.

En el plano tecnológico la situación es realmente crítica, pues muchas veces a pesar de la claridad que el investigador tiene acerca del problema que le interesa analizar, no siempre cuenta con el respaldo del saber-hacer técnico apropiado para concretarlo, y en algunos casos, este apoyo, sobre todo aquel que requiere alta tecnología, no se encuentra disponible ni siquiera a nivel nacional. Este hecho hace que el progreso en el área experimental se torne lento y difícil.

Por otra parte, la disponibilidad de equipos sofisticados en el país, también requiere de un número adecuado de laboratorios y talleres de servicio especializado, con financiamiento apropiado para mantenerlos en funcionamiento e innovarlos cuando sea necesario y, dónde y cuándo sea posible, ejecutar el diseño y

construcción de aparatos, instrumentos, accesorios y repuestos, ofreciendo así un apoyo eficaz al quehacer científico.

Estimo que la situación expuesta tiene validez en todos los países tecnológicamente atrasados, pero las características señaladas se observan más nítidamente, en mayor o menor grado, en sus universidades. De allí que, en adelante, esta exposición estará fundamentalmente referida al ámbito universitario.

En la actualidad, el personal de apoyo a las actividades de investigación y desarrollo experimental universitarios se ha formado con la práctica, llegando en algunos casos a niveles de gran eficiencia. Sin embargo, esto no impide diagnosticar la falta de una formación integral que permita al personal existente, y futuros cuadros técnicos que se integren al sistema, elevar sus habilidades y destrezas, mediante el aprendizaje sistemático de nuevos conocimientos técnicos y la captación de valores que los identifiquen con los fines de la investigación.

La formación así adquirida permitirá contar con técnicos creativos, motivados e identificados con los fines de estas funciones, quienes estarán capacitados para comunicarse con los investigadores, interpretando cabalmente sus requerimientos de ayuda, concretando su acción a través de una adecuada combinación de experiencias y conocimientos de instrumentos, equipos y materiales.

Por otra parte, las facilidades centrales con que cuentan las universidades, como microscopios electrónicos, equipos de rayos X, espectrómetros de análisis químicos y otros que estas instituciones poseen, o establecerán a futuro, también necesitan de este personal técnico debidamente formado, estimulado e identificado con su función, para lograr el máximo de beneficio de

las altas inversiones económicas que estos equipos implican.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el personal así formado con una preparación que combina, en mayor o menor grado, conocimientos técnicos y empíricos con habilidades artísticas, posee características no fáciles de encontrar en nuestro medio, y deberán valorarse altamente, pues estarán en condiciones de ejercer una actividad creativa y de realizar innovaciones técnicas en el campo de su especialidad.

No obstante, debe reconocerse que si se emprenden las tareas señaladas se hará necesario contar con personal técnico permanente, suficiente y adecuado, en la infraestructura técnico-administrativa de apoyo a la investigación, a fin de darle continuidad y eficiencia a estas actividades. De allí que se hace imprescindible preparar expertos en la evaluación de proyectos de equipamiento y en la adquisición de equipos y materiales, en recopilación y elaboración de información y su difusión, y en la canalización ágil de los fondos otorgados a los proyectos aprobados por los comités académicos, a través de concursos de investigación.

Todas estas acciones, aunque no constituyen en sí labores de investigación y desarrollo, si ellas no se promueven y ejecutan en forma armónica y eficaz será muy difícil que se proyecten con vigor, ni se fortalezcan las vinculaciones, que es preciso que existan, entre la ciencia y el saber-hacer tecnológico, tanto en términos de respaldo a la infraestructura técnica de apoyo a la investigación y desarrollo experimental, como en cuanto a favorecer la interacción mutua entre estas dos últimas actividades.

Por otro lado, se estima la carencia e insuficiencia de recursos humanos y mecanismos de difusión provocan el aislamiento

de la ciencia con la sociedad e impiden la divulgación de la cultura científico-técnica fuera de la élite directamente involucrada en las actividades de investigación, sin fortalecer nexos entre la producción local de conocimientos e innovaciones tecnológicas con el sistema económico, productivo, político y educativo de estos países.

Perspectivas de fortalecimiento de la Infraestructura

Desde otro ángulo, las universidades no han desarrollado una capacidad para el análisis, evaluación y selección —tanto en el plano tecnológico como económico— de los equipos, instrumentos y materiales ofrecidos a las instituciones por los importadores y/o vendedores. Tampoco se ha implementado una capacidad negociadora, por parte de las universidades, que las prevenga de cerrar contratos con organizaciones de responsabilidad y solvencia limitada, cuya experiencia y escasa trayectoria no otorgue el prestigio ni la seriedad necesaria para concretar y cumplir compromisos. Este factor es esencialmente importante cuando la oferta de créditos para adquirir equipos, por parte de algunas firmas comerciales, compromete los presupuestos universitarios por plazos muy largos y por montos considerables.

Será, entonces, imprescindible —dentro de cada universidad— diseñar políticas y establecer mecanismos e instrumentos permanentes para impulsar el avance en todos los aspectos mencionados.

Sin embargo, es necesario tener en cuenta los peligros que ello encierra en cuanto a la creación y promoción de sistemas exageradamente burocratizados. Por esta razón se deberá considerar la revisión periódica de la estrategia en este campo, de

modo que no se vicie el sistema, al incorporar personal innecesario —no creativo—, que no incida directamente en el progreso de las actividades de investigación y desarrollo experimental. Dentro de esta estrategia deberán, también, considerarse aspectos tales como ofrecer entrenamiento permanente al personal, que lo habilite para abordar los problemas técnicos en forma creativa, así como también para emprender la búsqueda de metodología para complementar esta labor, incluyendo mecanismos e instrumentos que ayuden a identificarlos y motivarlos en su quehacer.

En síntesis, las estrategias no sólo deberán considerar el entrenamiento de estos técnicos en cuanto a conocimiento y destreza, sino que también la entrega de valores que incentiven y promuevan la más estrecha colaboración y unidad de propósito entre técnicos e investigadores. Aunque hay que reconocer que la tarea no estaría completa si, a su vez, los científicos no contribuyen a facilitar este acercamiento.

Sin embargo, existen acciones que podrían concretarse a corto plazo, como son:

- Diseñar planes de perfeccionamiento de estos técnicos, en el país o en el extranjero;
- Retener los profesionales ya formados, a través de un sistema adecuado de remuneraciones (Escala Técnica);
- Estimular su quehacer, por ejemplo, incorporando sus nombres en los agradecimientos que se realizan al final de las publicaciones científicas, o incluyéndolos como co-autores cuando la contribución sea innovativa.

La preocupación en estos aspectos es de vital importancia, y así lo han entendido los países avanzados, pues evita que los cuadros técnicos, una vez formados, sean atraídos y absorbidos por el sector productivo, al ofre-

cerles mejores condiciones de trabajo, como ocurre en la actualidad en nuestro país.

Una vez superada la etapa de formación de técnicos se podría, asimismo, abrir concursos de proyectos de infraestructura de apoyo a la investigación, a fin de fortalecer los recursos materiales y los nuevos recursos humanos de aquellos laboratorios y facilidades centrales que constituyen una ayuda real a estas actividades. Es obvio que estos proyectos se deberían evaluar, aceptar o rechazar, de acuerdo a la formación y motivación de los gestores del proyecto, utilizando un proceso similar al que se aplica para los trabajos de investigación. Del mismo modo, estos proyectos deberían estar sujetos a control de avance durante su ejecución y de funcionamiento eficiente una vez establecidos.

En cuanto a las facilidades centrales de apoyo técnico a la investigación ya citadas, si el costo de los equipos es muy elevado como para justificar su compra por parte de una determinada universidad, se podría estudiar la factibilidad de financiamiento y administración interuniversitario, considerando que una vez adquiridos los equipos deberían dotarse con personal idóneo e instalaciones adecuadas.

Como complemento a un apoyo eficiente, es preciso destacar la urgente necesidad de elaborar un catastro adecuado acerca de los laboratorios y talleres especializados, así como de las facilidades centrales existentes dentro del sistema universitario, o externo al mismo, incluyendo información sobre el tipo y modo de prestación de servicio que otorgan. También será conveniente mantener un inventario de los reactivos químicos más utilizados y su volumen de empleo.

La información relativa al inventario y clasificación de los

laboratorios, talleres y facilidades centrales disponibles para ser utilizados por los investigadores del sector universitario, deberá ser actualizada, exacta, acumulativa y publicada periódicamente. No obstante, es necesario también contar con sistemas dinámicos de información y contacto que faciliten el intercambio del servicio interuniversitario en estas materias. Ello servirá, además, para utilizar estas facilidades como centros de entrenamiento del personal técnico de las universidades, al situar elementos jóvenes con iniciativa y creatividad bajo la tutela de profesionales ya formados, de modo que contribuyan a establecer los cuadros técnicos futuros.

Por otra parte, es conveniente estudiar la factibilidad tecnológica y económica para producir en el país aquellos reactivos químicos de uso masivo en las investigaciones, siempre que cumplan con las normas internacionales de calidad.

Si se solucionan todos estos aspectos, los científicos e ingenieros se encontrarán debidamente respaldados para dedicarse a la investigación y al desarrollo experimental, diseñando y construyendo aparatos, instrumentos, equipos y plantas experimentales, desarrollando de esta manera habilidades para concretar ideas, destrezas, que son tan necesarias para nuestro medio.

Se estima, por tanto, que el desarrollo de un sistema científico-tecnológico bien organizado no sólo requiere científicos de alto nivel, sino que también exige y fomenta la producción de técnicos de mentes alertas y vigorosas, con hábitos de trabajo flexibles, que puedan visualizar innovaciones con rapidez y cuenten con los medios para concretarlas.

El problema de los países en desarrollo no es su pobreza de recursos naturales, sino que su pobreza más básica es la de recursos humanos debidamente preparados. La capacidad humana se encuentra latente, pero desarrollarla no es tarea fácil, puesto que requiere tiempo, una buena organización y demanda para su utilización.

Se precisa, sobre todo en estos países, un ambiente exigente que permita al hombre aumentar su capacidad y satisfacer su deseo de vencer desafíos, y la necesidad de estar continuamente vinculando el saber-qué, al saber-hacer, de tomar decisiones en su área de acción y de lograr alcanzar sus aspiraciones de status y reconocimiento.

El desarrollo es un problema de energía humana, además de riqueza económica, y la dirección y generación de esta energía es tarea fundamental de la universidad. ■



MARTENSITA EN ALEACIONES BINARIAS BASE METALES NOBLES

Ing. Israel Murgas de la Paz
Profesor Jornada Completa
Departamento de Metalurgia UTE.



La transformación martensítica en aleaciones binarias base cobre, es descubierta por varios investigadores en forma casi simultánea, allá por los años 30 de este siglo. Desde entonces, muchos investigadores han dedicado sus esfuerzos para conocer los aspectos cristalográficos, metalográficos, cinéticos y termodinámicos involucrados en la transformación.

En el curso de los últimos 15 años, características comunes, pero muy complejas, han sido halladas en aleaciones binarias base cobre, oro y plata, denominadas aleaciones base metales nobles.

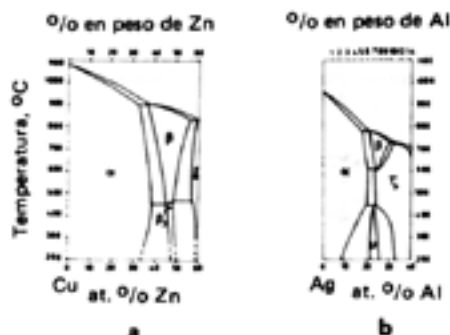
Por consiguiente, el objetivo de este artículo es mostrar algunas de estas características comunes, pero atacadas desde un punto de vista estructural.

Todas las martensitas tratadas corresponden a fases obtenidas por temple de la fase β desde su rango de estabilidad y como la estructura de la fase matriz influye fuertemente sobre las características estructurales del producto, en este caso la martensita, es imprescindible conocer algunas características acerca de la estructura de la fase matriz.

1. La fase matriz

La fase β es común a todos aquellos sistemas binarios que se forman entre los metales Au, Cu y Ag y elementos de los subgrupos B en la tabla periódica o con elementos que se comportan en

forma similar. Tanto la estructura cristalina, como la composición química de las fases existentes en estos sistemas (fases de Hume-Rothery o fases electrónicas) están relacionadas a una cierta razón de electrones-átomos. Así, por ejemplo, la fase β ocurre a una razón de electrones-átomos igual a 3/2. Sin embargo, otros factores conducen a considerables variaciones en los diagramas de fases. Algunos diagramas característicos son dados en la Fig. 1. Los elementos que forman aleaciones binarias con Ag, Au y Cu que presentan una fase estable son dados en la Fig. 2, donde las posiciones de los elementos solventes y solutos están referidas a la tabla periódica.



Continuación Fig. 1 →

Continuación Fig. 1

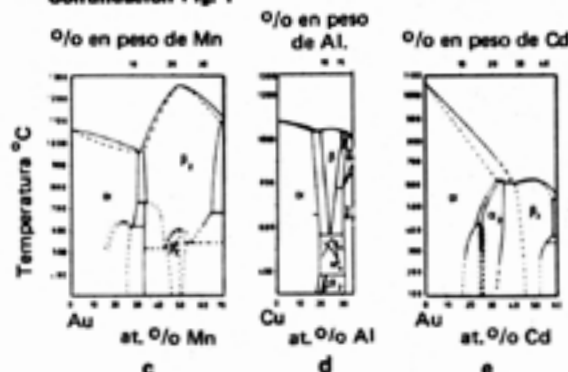
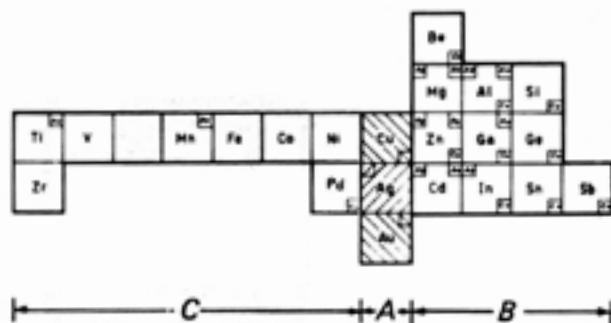
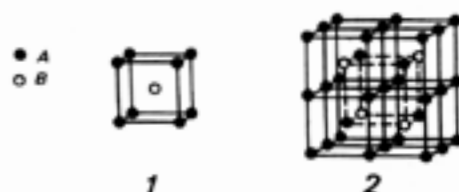


Fig. 1. Diagramas de fases correspondientes a las partes ricas en metales nobles a) Cu-Zn, b) Ag-Al, c) Au-Mn, d) Cu-Al e) Au-Cd.

Fig. 2. Posiciones de los solventes (A) y solutos (B) en la tabla periódica. Los pequeños cuadrados muestran el solvente que forma una fase β con el respectivo elemento soluto.

1.1 Estructura cristalina de β

La fase β se presenta en algunos casos como una fase ordenada y en otros como una fase desordenada. En este último caso su estructura es cúbica centrada en el cuerpo (bcc), mientras que cuando está ordenada, su superestructura adopta la estructura del CsCl (B2; símbolo: β_2) con composición estequiométrica AB o del Fe_3Al (DO_{19} ; símbolo: β_1) con composición estequiométrica A_3B (Fig. 3).

Fig. 3. Celdas unitarias de las estructuras ordenadas tipo 1) CsCl y 2) Fe_3Al .

Desviaciones desde la composición estequiométrica y desde el orden perfecto por parte de las superestructuras mencionadas anteriormente pueden ocurrir por:

- Un exceso de átomos de un componente en las posiciones de la subred del otro componente al azar o en forma ordenada.
- Una distribución de vacancias ordenadas o al azar en una de las subredes y
- Una mezcla de dos fases; precipitados ordenados en una matriz desordenada (Fig. 4).

Fig. 4. Cu-12% Al en peso. Templada desde 900°C en un baño de plomo a 508°C , mantenida ahí por 120 seg. y luego templada en agua. Se observan dominios ordenados (Cu_3Al) en una matriz desordenada. En el interior de la zona ordenada que nace del borde de grano se aprecian pequeños precipitados de la fase α x 1000.

Si el enlace es predominantemente metálico, la composición estequiométrica no es necesariamente la más estable, pero a medida que el enlace gana en carácter iónico la composición estequiométrica gana en estabilidad, por ejemplo: AgMg .

Nakanishi ha señalado que el ordenamiento atómico en la matriz no solamente determina la superestructura de la martensita, sino también por virtud de efectos de tamaño y cambios en los enlaces, la simetría y empaquetamiento exacto de la martensita. Lauteuschlager et al. han afirmado que la razón de tamaños atómicos R_A/R_B controla el empaquetamiento de la estructura B2. Con una razón de $R_A/R_B = 1$ la estructura tiene un empaquetamiento tipo B2 con átomos distintos en contacto a lo largo de las direcciones cristalográficas $\langle 111 \rangle$ (Fig. 5A). A medida que R_A/R_B disminuye, este contacto es mantenido, mientras los átomos más grandes se aproximan unos a otros a lo largo de las direcciones $\langle 100 \rangle$.

A $R_A/R_B = 0.732$, los átomos más grandes están en contacto a lo largo de $\langle 100 \rangle$ y los átomos distintos están en contacto a lo largo de $\langle 111 \rangle$ (Fig. 5B). Este caso límite ha sido designado como la "estructura compacta B2". La razón R_A/R_B no solamente afecta la deformación aso-

ciada con la transformación martensítica, sino también la dependencia entre concentración y M_s .

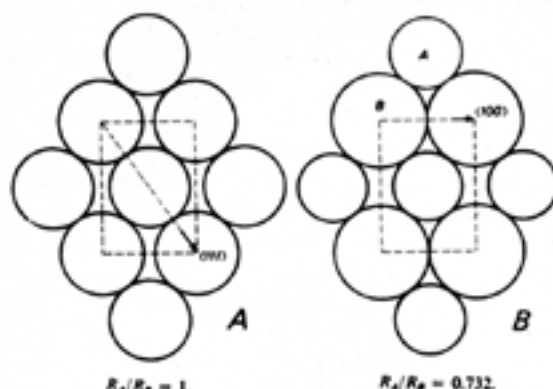


Fig. 5. Empaquetamiento atómico en los planos {110} de la estructura CaCl_2 como función del tamaño relativo de los átomos.

Efectos de tamaños análogos existen en las martensitas del diagrama hierro carbono, en donde los átomos de carbono están distribuidos al azar en sitios intersticiales equivalentes de la austenita. Ellos son transferidos a sitios intersticiales de una subred particular en la martensita debido a la correspondencia de la red. Así, básicamente, se produce una distorsión tetragonal a lo largo de sólo uno de los ejes cúbicos.

1.2 Transformaciones de fases previas a la transformación martensítica.

En muchas aleaciones se producen transformaciones previas a la transformación martensítica, que no pueden evitarse y que en consecuencia afectan las propiedades y cristalografía de la martensita. Como un ejemplo de este tipo de transformaciones, consideramos la transformación desorden-orden en el sistema Cu-Al. La temperatura de inicio del ordenamiento (T_c) y la temperatura de inicio de la martensita (M_s) como función de la composición son mostradas en el diagrama de fases Cu-Al de la Fig. 1. Resultados experimentales en aleaciones con más de un 21% atómico de Al han mostrado que previo a la reacción martensítica, estas aleaciones se transforman parcialmente o completamente (e inhomogéneamente u homogéneamente) a una superestructura tipo DO_3 con defectos, dependiendo de la composición y velocidad de enfriamiento. Ya que la distribución ordenada es retenida en la martensita, y ya que el cizalle inhomogéneo, es decir la deformación invariante de la red, está predominantemente asociada con vectores de Burgers que son vectores de traslación completos de la superred, la estructura de dominios de antifase es preservada a través de la transformación.

CLARK

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

CHICAGO

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

LINCOLN ELECTRIC

LINCOLN ELECTRIC
Soldadoras

TRW Mission

MISSION MANUFACTURING CO.
Bombas, válvulas, martillos, brocas.

LOCKWOOD

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

PHOENIX

PHOENIX ENGINEERING CO. LTD.
Esparcidores gravilla, asfalto.

JCB

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.

dmd QUALITY

DRESSER INDUSTRIES, INC.
Uniones, medidores.

Blaw Knox Limited

BLAW KNOX LTD.
Pavimentación asfáltica.

DYNAPAC

DYNAPAC
Vibradores y compactación.

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

Servicio Técnico y Repuestos
DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO

MAURICIO HOCHSCHILD S.A.I.C.

Av. P. de Valdivia 295
Teléfono 227522
Casilla 453 - D, Santiago

2. Las fases martensíticas

Los diferentes tipos de fases martensíticas caracterizadas por su estructura y símbolo son agrupadas en la Tabla 1. La principal división vertical en esta figura, corresponde al tipo de deformación asociado con la transformación. La deformación de plano invariante que define la deformación macroscópica total en la formación de una placa de martensita ha sido dividida en dos componentes de deformación de acuerdo a Wechsler et al. a) deformación de la red y b) deformación invariante de la red. Las estructuras obtenidas por ocurrencia de la deformación de la red solamente son dadas en la tercera columna, mientras que las estructuras finales obtenidas después de la acción combinada de ambos componentes de deformación y sus respectivos símbolos son dadas en las dos últimas columnas.

Las estructuras de las fases martensíticas son

Tabla 1
Caracteres y Símbolos de las Fases Martensíticas

Fase Martensítica		Estructuras después de la deformación			
Símbolo de la Fase	Estructura	Estructura después de la deformación de la red	Estructuras después de la deformación invariante de la red		
			Tipo	Simbología de la deformación invariante de la red	Símbolo de la Fase
β	bcc (estructura bcc)	bcc (estructura bcc)	β	bcc	β (estructura bcc)
	bcc (estructura bcc)	bcc (estructura bcc)		bcc	β (estructura bcc)
γ	bcc (estructura bcc)	bcc (estructura bcc)	γ	bcc	γ (estructura bcc)
	bcc (estructura bcc)	bcc (estructura bcc)		bcc	γ (estructura bcc)
α	bcc (estructura bcc)	bcc (estructura bcc)	α	bcc	α (estructura bcc)
	bcc (estructura bcc)	bcc (estructura bcc)		bcc	α (estructura bcc)

todas esencialmente compactas, pero pequeñas distorsiones monoclinicas y ortorrómbicas que no han sido tenidas en cuenta en la Tabla 1 serán tratadas más adelante.

La principal división horizontal corresponde a las martensitas tipo β y tipo γ . Esta distribución se basa en la transición estructural asociada con la deformación de la red: bcc \rightarrow fcc y bcc \rightarrow hcp.

Por su parte, la deformación invariante de la red determina la estructura cristalina final de la martensita en algunos casos y la microestructura en todos. La estructura fcc producida por la deformación de la red no ocurre realmente, porque cambios de apilamiento están distribuidos periódicamente en la red, tal que se obtiene una estructura generalmente descrita mediante simetría ortorrómbica martensita tipo β , mientras que la estructura hcp producida por la deformación de la

red no es alterada por la deformación invariante de la red, porque las maclas (elementos de la deformación invariante de la red) no cambian la estructura (martensita tipo γ). En muchos sistemas de aleaciones base metales nobles, ambos tipos de martensitas se encuentran presentes, por ejemplo: en aleaciones Cu-Al.

Fuera de los cambios de apilamiento y/o maclas, las posiciones atómicas ordenadas deben ser consideradas si la matriz está ordenada. Efectos de ordenamiento son responsables de las distorsiones monoclinicas y ortorrómbicas de la estructura martensítica, que pueden ser comparados a los efectos de distorsión anisotrópica debido a los átomos de carbono ubicados en la estructura de la martensita Fe-C. Es necesario, además, una diferenciación adicional para describir la superestructura de la martensita, a causa de los diferentes ordenamientos que puede presentar la matriz. Así, por ejemplo, si la martensita se deriva de una matriz con superestructura DO_{19} y el producto de la transformación posee sólo una estructura, el símbolo β_1 es usado para la martensita tipo β y γ_1 para la martensita tipo γ .

2.1 Estructuras cristalinas de las fases martensíticas.

2.1.1 La estructura fundamental

El término fundamental "estructura" será aplicado a la estructura de las martensitas desestimando sus superredes y distorsiones. Los tres tipos fundamentales de estructuras que ocurren son fcc, hcp y ortorrómbica "compacta" con cambios periódicos en la secuencia de apilamiento. En la literatura, numerosas notaciones diferentes son usadas para describir las secuencias de apilamiento. En este artículo, se usa la notación recientemente introducida por H. Sato en el campo de las aleaciones base metales nobles, por la conveniencia de su brevedad. Una relación de este tipo de notación con la nomenclatura convencional tipo ABC es resumida en la tabla 2.

Tabla 2
Diferentes notaciones para las variaciones de empaquetamiento de las estructuras martensíticas

Símbolos convencionales de las posiciones de empaquetamiento	Símbolos después de L.S. Ramsdell (H. Sato)
ABC	1 R
AB	2 R
ABCBACAB	3 R
ABCBACABAB	11 H
ABCBAB	6 H
ABCBAB	6 H ¹
ABCB	4 H ²

Las estructuras fundamentales de las martensitas tipo β obtenidas por temple y que se derivan de una transición $bcc \rightarrow fcc$ son fcc u ortorrómbica compacta. Esta última consiste en un arreglo de planos compactos, con una más o menos bien definida, pero complicada secuencia de apilamiento. La secuencia de apilamiento que ocurre más frecuentemente es 3R. Comenzando con un plano A como plano basal los otros planos basales son obtenidos desplazando el plano basal sobre una distancia ($00z$); siendo z igual a n/m donde n es el número de rango del plano concerniente y m el número total de planos del período en la dirección c . Las posiciones B y C son obtenidas por desplazamientos x en el plano $a-b$ y por desplazamientos z . Las posiciones de un punto de referencia en el plano $a-b$ son: 1 0, -1 en fracciones de $\frac{1}{3}$ $\frac{2}{3}$

las dimensiones de la celda unitaria a lo largo de a . Así, las posiciones de empaquetamiento son: A($00z$), B($\frac{1}{3}$ $0z$) y C($\frac{2}{3}$ $0z$). El plano basal es

compacto despreciando posibles distorsiones pequeñas y está representado en la Fig. 6. Los ejes a y b de la celda unitaria ortorrómbica yacen en el

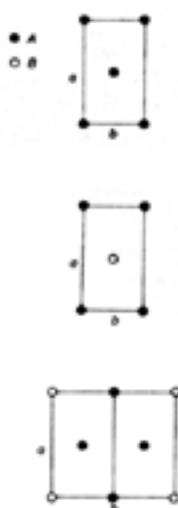


Fig. 6.1. Derivada desde A2 (bcc).

Fig. 6.2. Derivada desde B2 (tipo CsCl)

Fig. 6.3. Derivada desde DO₃ (tipo Fe₃Al)

Fig. 6. Planos basales de las estructuras martensíticas derivadas desde planos $\{110\}$ de la fase matriz de acuerdo a la correspondencia de Bain.

plano basal y el eje c es perpendicular a éste. Un modelo de la celda unitaria de la estructura ortorrómbica fundamental con la secuencia de apilamiento 3R se muestra en la Fig. 7, junto con un modelo de la estructura fcc, la cual tiene sus planos $\{111\}$ orientados paralelos al plano basal del

modelo de la estructura 3R. Los cambios de apilamiento con respecto a la estructura fcc son indicados por las flechas.

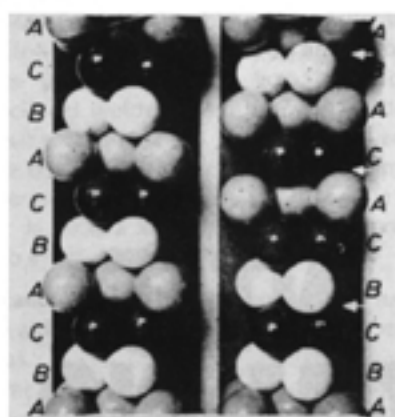


Fig. 7. Un modelo de la celda unitaria ortorrómbica (estructura fundamental) con la secuencia de empaquetamiento 3R (ABCBCACAB) y un modelo de las posiciones atómicas en una estructura fcc que muestra un conjunto de sus planos compactos orientados paralelamente al plano basal de la estructura 3R. Las flechas indican los cambios de apilamiento.

La martensita tipo β' es una variación especial entre las martensitas tipo β . Esta consiste en una fina mezcla laminar de dos estructuras compactas alternadas que tienen el mismo plano basal, pero diferente secuencia de apilamiento. Las secuencias de apilamiento son 3R y 2H o 3R y 1R, y están caracterizadas por $m'3R$, $m'2H$ y $m'1R$ que representan el número promedio de celdas unitarias por lámina de cada estructura.

La deformación invariante de la red que acompaña la transformación de la fase β a martensita γ es una deformación de maclado. Las maclas son tan anchas (≈ 50 a 500 \AA) que no modifican la estructura resultante de la deformación de la red. Por lo tanto, la estructura fundamental es hexagonal compacta en todos los casos. El símbolo usado es γ' .

En el caso de que la fase matriz esté ordenada, la distribución de átomos en la fase martensita también lo estará. El estado ordenado de la martensita es el mismo estado que estaba presente en la fase matriz, es decir la microestructura homogénea o heterogénea, el grado de ordenamiento en la fase ordenada y la distribución de bordes de antifase se preservan. Esto sucede debido a la naturaleza no-difusional de la transformación martensítica. ■

REFERENCIA

H. Warlimont and L. Delaey, Martensitic Transformations in copper-silver and gold based alloys. Progress in Materials Science, Vol 18, Pergamon Press, New York, 1974.

INTER- CAMBIO TECNO- LOGICO

Fernando Díaz J.

Ing. Civil Metalúrgico
Profesor Departamento
Metalurgia UTE.



Consulta: En esta oportunidad daremos una respuesta orientadora a una pequeña fundición que consulta acerca del Proceso CO_2 para moldeo, con el objeto de tomar decisión para cambios de procesos de moldeo en su industria.

Respuesta: El Sistema de Moldeo por "Proceso CO_2 /Silicato" se inició en 1957 en Inglaterra y hoy en día es muy amplia su utilización por su simplicidad operativa, bajo costo y flexibilidad de aplicación en muchos tipos de moldeo de piezas tanto ferrosas como no ferrosas.

Básicamente, el proceso consiste en preparar arena cuarzosa mezclada con silicato de sodio (vidrio soluble), moldear la pieza e inyectarle una corriente de anhídrido carbónico para obtener en pocos segundos un moldeo consistente, sin necesidad de armaduras de alambre, ganchos, ni secado posterior.

Materiales requeridos

a) **Arena cuarzosa (o lavada).** Se recomienda un grado de fineza variable entre 55 y 65 AFS con permeabilidad base de 140 a 190. Se recomienda que la arena de moldeo contenga cierto % de arcilla, porque se logra alta resistencia del moldeo después del gaseado y además economiza silicato de sodio. El contenido de sílice (SiO_2) debe ser variable entre 95 y 98% y el de arcilla (Al_2O_3) variable entre 1,5 y 2,5%.

b) **Aditivos.** Los aditivos deben ser tales que aumenten la resistencia, reduzcan la penetración de metal y eliminen sopladuras e inclusiones.

— polvo de carbón vegetal: facilita la tarea de limpieza y previene la penetración de metal.

— aserrín: aumenta resistencia a la ruptura, pero disminuye la resistencia en verde.

— arcilla: aumenta resistencia a la ruptura y previene penetración del metal.

— azúcar: adición de hasta 10% de azúcar o melaça produce una piel de la pieza muy limpia y además aumenta resistencia a la ruptura.

c) **Silicato de sodio:** Los más comúnmente utilizados son los grados 100, 112 y 125 (48, 52 y 56 grados Beaumé) con un contenido de 13, 15 y 17% de Na_2O y 30, 31 y 33% de SiO_2 , respectivamente. El grado 112 es el más ampliamente utilizado, permitiendo obtener una mezcla extremadamente dura mejorando aún más después de uno o dos días de almacenamiento.

d) **Anhídrido carbónico:** Se comercializa en balones o cilindros de 0,5 y 2 m^3 . La salida del gas no debe acelerarse a más de 4 lb/hr para evitar formación de "hielo seco". El CO_2 licuado está bajo 700 a 850 psi.

Mezclas Típicas (referidas a 100 Kgs arena cuarzosa)

a) Fundición gris:	arena	100 Kg
	carbón	2 Kg
	silicato	3,5 Kg
b) Aceros (almas):	arena	100 Kg
	silicato	3,5 Kg
	dextrina	0,5 Kg
c) Aceros (moldes):	agua	0,5 Kg
	arena	100 Kg
	arcilla	1 Kg
d) Aluminio:	silicato	4 Kg
	arena	100 Kg
	silicato	3,5 Kg
e) Bronce:	arena	100 Kg
	carbón	2 Kg
	azúcar	1 Kg
	silicato	3,5 Kg

Mezclado: Es recomendable preparar la mezcla en un trapiche mezclador (malaxor) en lo posible de paletas. La temperatura ambiente debe presen-

tarse entre 20 y 25°C, con un tiempo de mezclado de 3 minutos previos a agregar al silicato y de 3 minutos más una vez agregado.

Aplicación del CO₂: El gas debe tener un rango de presión entre 20 y 30 psi y su aplicación puede ser con una campana de goma que cubra la superficie del molde o bien tubo perforado que se introduzca al molde. El tiempo de inyección es variable con el tamaño del molde generalmente no es superior a 20 seg. Existen timer que permiten regular la exacta cantidad de gas a inyectar de acuerdo al volumen del molde.

Precauciones: Conservar las almas en lugar seco para su almacenamiento y por tiempo no mayor de tres días.

El mezclador debe estar alejado de hornos que produzcan gases, pues su contenido de CO₂ puede producir acción inmediata sobre la mezcla. No dejar mezclas preparadas para usar al día siguiente. Si así fuese necesario, conservarla en bolsas plásticas.

CONAMET '79

RECONOCIMIENTOS

La Universidad Técnica del Estado por intermedio de la Revista CONTACTO quiere reiterar su reconocimiento a la valiosa contribución prestada, por un grupo de las más prestigiosas empresas e industrias del país, al buen éxito del Primer Congreso Nacional de Metalurgia.

Queremos dejar expresa constancia de dichas instituciones patrocinadoras listando sus nombres para el futuro.

GRACIAS

- PROYECTO MULTINACIONAL DE METALURGIA DE LA ORGANIZACION DE ESTADOS AMERICANOS
- ASOCIACION DE INDUSTRIALES METALURGICOS (ASIMET).
- CORPORACION NACIONAL DEL COBRE DE CHILE (CODELCO-CHILE).
- COMISION CHILENA DEL COBRE
- EMPRESA NACIONAL DE MINERIA (ENAMI).
- KUPFER HERMANOS S.A.
- REFRACTARIOS CHILENOS S.A. (REFCSA).
- COMPAÑIA DE ACERO DEL PACIFICO S.A. (CAP).

CONAMET '79

RESEÑA BIBLIOGRAFICA DEL PROFESOR L. H. VAN VLACK

El profesor Lawrence H. Van Vlack se graduó en Ingeniería Cerámica en la Universidad del Estado de Iowa en 1942, y se doctoró en Geología en la Universidad de Chicago en 1950.

Durante la Segunda Guerra Mundial trabajó para la firma U.S. Steel en Chicago, primeramente como ceramista (1942-1943) y posteriormente como petrógrafo (1943-1947). Desde 1947 y siempre en la misma firma, fue supervisor metalúrgico hasta 1952, pasando a ocupar el cargo de Metalurgista de Procesos en las usinas que tiene la U.S. Steel en Pittsburg, hasta 1953.

En 1953 se incorporó al cuerpo docente de la Universidad de Michigan como profesor asociado de Ingeniería ascendiendo a Profesor Titular en 1958. Fue Director del Departamento de Ingeniería Química y Metalúrgica, y de Ingeniería de Materiales en dos períodos entre 1967 y 1973.

Siendo ya un académico, fue profesor visitante en la Universidad de California (1961), en la Universidad de Melbourne (1976), en el Indian Institute of Technology (1969), y en la Universidad de Monash en Victoria (1973).

El profesor Van Vlack ha tenido una fecunda labor como autor de textos docentes. Sus obras más conocidas son:

- La naturaleza y el comportamiento de Materiales de Ingeniería. Dos ediciones: 1956 y 1958.
- Elementos de la Ciencia de Materiales. Dos ediciones traducidas posteriormente a varios idiomas: 1959 y 1964.
- Cerámica Física para Ingenieros (1964).
- Ciencia de Materiales para Ingenieros (1970).
- Cálculos en Ciencia de Materiales e Ingeniería (1971).
- Un texto de Tecnología de Materiales (1973).
- Guía para instructores en Tecnología de Materiales (1973).
- Elementos de Ciencia de Materiales e Ingeniería (1975).

Sus libros han sido adoptados como textos guías en más de 200 Universidades y Colleges de Estados Unidos, y como han sido traducidos a diversos idiomas extranjeros, son estudiados por más de la mitad de los estudiantes de todo el mundo libre.

El profesor Van Vlack es autor además de más de un centenar de artículos técnicos de sus especialidades, cubriendo temas de microestructura cerámica, cerámicas oxidadas, inclusiones no metálicas en aceros, materias primas geológicas, mineralogía industrial, diseño de hornos y refractarios, aceros de corte fácil y compuestos sulfurados.

Aparte de su trabajo académico el profesor Van Vlack como Ingeniero Consultor ha prestado asesoría a diversas empresas y organizaciones gubernamentales.

El es miembro honorario de la American Ceramic Society y de la American Society for Metals. Es además miembro activo de la ASTM, del AIME, de la British Ceramic del National Institute of Ceramic Engineers, y varias otras organizaciones.



CONAMET '79

RESEÑA BIBLIOGRAFICA DEL
DR. N. J. THEMELIS

El Doctor Nickolas J. Themelis se graduó con honores en Ingeniería Química en la Universidad de Mc Gill (Montreal, Canadá), el año 1956. En esa misma Universidad obtuvo su doctorado (Ph. D.) con un estudio cinético de la reducción de partículas de óxido de hierro. Ya graduado, trabajó primeramente con la firma Strategic Materials Corporation de New York para el desarrollo de procesos de reducción directa de minerales de hierro. Durante el período 1962-1972 fue gerente de la división de ingeniería del grupo de compañías Noranda en Canadá. Allí supervisó programas de investigación y desarrollo en la extracción y fabricación de cobre, de cinc, y de sus subproductos. En 1972 fue nombrado Vicepresidente de Investigación e Ingeniería de la División de Minería Metálica de la firma Kennecott, donde coordinó las actividades de los centros de investigación, de Ingeniería y de Computación ubicados en la ciudad de Salt Lake (Utah), y dirigió también el Comité de Mejoramiento de las operaciones de la División de Minería Metálica. En mayo del presente año fue ascendido a Vicepresidente de Tecnología de la Kennecott Copper Corporation. Trabaja en las oficinas centrales de la Kennecott y reside en Stamford (Connecticut).



El doctor Themelis es autor de casi 40 artículos técnicos acerca de los fenómenos cinéticos de la Metalurgia Extractiva y del análisis de los procesos metalúrgicos. Tiene 18 patentes sobre reducción de minerales de hierro y metalurgia del cobre, y es el inventor del proceso Noranda para la fusión y conversión continua de concentrados de cobre en un solo reactor. Se encuentra ya en operación plantas industriales con este proceso en Canadá y en Salt Lake (Utah).

El año 1971 las Naciones Unidas contaron con la asesoría del Dr. Themelis para la formación del Centro de Investigación Minera y Metalúrgica (CIMM) en Chile, siendo además profesor invitado en la Universidad de Chile.

En 1971 junto al Dr. Julian Stekely de la Universidad del Estado de New York escribieron un texto acerca de los Fenómenos Cinéticos de la Metalurgia de Procesos. Este libro se usa actualmente en los cursos de graduados y de post grado en muchos Departamentos de Metalurgia en el mundo, y como texto de referencia por los ingenieros metalurgistas. Este libro es una gran contribución a la Metalurgia de Procesos y ha colaborado para la paulatina transición de esta disciplina desde un arte para llegar a transformarla en una ciencia.

El Dr. Themelis es un miembro activo de la sociedad metalúrgica americana y de la canadiense y miembro honorario del Chemical Institute de Canadá. Como reconocimiento a sus contribuciones a la Metalurgia la División de Metalurgia Extractiva del AIME le ha otorgado dos veces la medalla de oro (1968 y 1973), la Canadian Society for Chemical Engineering le ha otorgado el premio ERCO por realizaciones excepcionales (1971), y el AIME lo distinguió como conferencista en la Clase Magistral de Metalurgia Extractiva en 1972.

notas breves

QUINTO SEMINARIO DE ESPECIALIZACION AVANZADA EN METALURGIA

Durante el período comprendido entre el 10 de julio y el 19 de septiembre del presente año, se llevó a cabo en la Comisión Nacional de Energía Atómica de Argentina, el "Quinto Seminario de Especialización Avanzada en Metalurgia". El evento, que en esta oportunidad versó sobre "Deformación Plástica" se realizó con el marco académico del Programa Multinacional de Metalurgia de la OEA, y cubrió tópicos como teoría de dislocaciones y mecanismos de endurecimiento en cristales, textura y su relación con propiedades microestructurales, deformación en caliente y otros de gran interés, dictados

por expertos de prestigio internacional.

Participaron en el Seminario los profesores Dr. Jorge Garín C. y Dr. Bernd Schulz E., en los módulos correspondientes a Textura y Deformación en Caliente, respectivamente.

Los participantes complementaron los temas expuestos por los profesores, con seminarios y discusiones sobre los trabajos en desarrollo en las diferentes instituciones y centros de investigación de donde provenían. La realización de ese Seminario servirá, sin lugar a dudas, de base para futuros intercambios sobre temas de investigación y desarrollo en colaboración entre los diferentes centros.

NUEVO PROFESOR DE METALURGIA

El equipo académico del Departamento de Metalurgia ha sido recientemente reforzado con la contratación de un nuevo profesional metalurgista. Se trata en esta oportunidad, del Ingeniero Civil Metalúrgico Sr. Rodrigo Palma Hillerns. El Sr. Palma realizó sus estudios de Ingeniería en la Universidad Técnica Federico Santa María, donde orientó su especialización hacia la metalurgia mecánica y transformaciones de fases. En nuestra unidad aportará su valioso concurso al área de metalurgia adapti-

va, incrementando así la potencialidad de educación superior que nuestro departamento entrega a los futuros profesionales.



DESARROLLO DE PROYECTOS EN PREVENCIÓN DE RIESGOS

Con el fin de dictar un seminario intensivo sobre desarrollo de proyectos dentro del Programa de Prevención de Riesgos de CODELCO-SALVADOR, viajó a la Planta el profesor Dr. Marco Solar B. Durante dos días el Dr. Solar disertó sobre los principales tópicos englobados en la generación, formulación y ejecución de proyectos, así como también sobre el informe final.

CONTACTO Nº 6

En breve ceremonia efectuada en la sala de especialidad del Departamento, se hizo entrega oficial de la sexta edición de CONTACTO, a las autoridades de la Facultad de Ingeniería, representadas por su Decano, Dr. Arturo Meléndez I. La oportunidad



revistió especial importancia, por cuanto se dio a conocer a la comunidad metalúrgica, la primera edición de la revista, realizada en su totalidad, es decir tanto su contenido intelectual como su administración financiera, por profesores del Departamento.

El ingeniero Raúl Ramírez S., Director de la revista, agradeció a todas las empresas e instituciones que, gracias al valioso aporte otorgado, hicieron posible esa edición. Al respecto, señaló Ramírez, que "se abre así, un camino más en el importante estrechamiento de relaciones entre Empresa y Universidad"

Entre los ejecutivos invitados al acto, destacó la presencia del Gerente General de RECSA, Ing. Germán Ribba, del Director del CIMM, Ing. Alexander Sutulov y del Sr. Edmundo Urrutia, Relacionador Público de ASIMET

ANIVERSARIO DE TALLERES GRAFICOS

Con asistencia de diversas autoridades de la Corporación, encabezadas por el Vicerrector Académico, Dr. Ramón Hernández P., se realizó la ceremonia de celebración de los diecisiete años de existencia de los Talleres Gráficos de nuestra Universidad.

Durante el acto, el Ing. Jorge Orellana R., Director de la Escuela Tecnológica, destacó el alto grado de eficiencia que han alcanzado los talleres, en su labor de colaboración con todas las unidades de la Institución. Señaló, además, Orellana, que la imprenta confecciona las dos revistas más importantes que edita la Universidad, que son "Contribuciones Científicas y Tecnológicas" de la Dirección de Investigaciones (DICYT), y "Contacto", órgano oficial de extensión

y difusión del Departamento de Metalurgia de la Facultad de Ingeniería. Como un buen desafío académico se interpretó la observación de que "la real capacidad de producción de los Talleres Gráficos depende fundamentalmente de la capacidad intelectual de la Universidad"

Al término de la ceremonia, las autoridades fueron invitadas a una breve visita a las dependencias, con el propósito de imponerse de las diferentes técnicas en uso, así como también del moderno equipamiento que ha recibido recientemente la imprenta.



CAPACITACION PROFESIONAL EN CODELCO-CHILE

Con el propósito de convenir un programa de capacitación profesional para ingenieros de la Fundación de Concentrados de Potrerillos, viajaron a esa planta el Director del Departamento, Dr. Jorge Garín C. y el Jefe del Área de Metalurgia Extractiva, Ing. Jaime Rauld F.

En reuniones de trabajo sostenidas con el Superintendente de Producción, Ing. Alberto Martínez P., se acordó impartir durante el resto del presente año, un plan básico de perfeccionamiento integrado por los cursos de "Termodinámica Metalúrgica Básica", "Principios de Solidificación de Metales", "Termodinámica de Soluciones Metalúrgicas" y "Equilibrio Heterogéneo". Los dos primeros cursos fueron ya dictados por los profesores Jaime Rauld F. y Bernd Schulz E. El resto del programa de capacitación en Metalurgia Extractiva se ha planificado para su realización durante el presente año.

Durante la misma visita los profesores Rauld y Garín fueron cordialmente invitados a visitar la Fundación, Planta Electrolítica y demás instalaciones de la División, oportunidad en que pudieron constatar los avances tecnológicos logrados gracias al aporte fundamental de ingeniería chilena.



XX CONGRESO LATINOAMERICANO DE SIDERURGIA

En representación de la Universidad Técnica del Estado, los profesores R. Bustamante, N. Santander y J. Garín, participaron en el Vigésimo Congreso Latinoamericano de Siderurgia, "ILAF-20", que se llevó a cabo desde el 1º al 3 de octubre del presente año.

El Congreso, organizado por el Instituto Latinoamericano del Fierro y del Acero, se desarrolló en torno a cuatro tópicos principales: "Regulación del Comercio Internacional y la Posición de América Latina", "Usos del Acero", "Optimización del Consumo de Energía en la Industria del Fierro y del Acero" y "Tec-

nología de Fabricación del Fierro y del Acero".

Como actividad estrechamente integrada a ILAF-20, se llevó a cabo la tradicional exposición del fierro y del acero, ILAFEXPO-79, que exhibió modelos a escala, fotografías y profusa información ilustrando procesos y equipos, presentada por las empresas internacionales más importantes del área.

Con la realización de ILAF-20 se conmemoró la fundación del Instituto Latinoamericano del Fierro y del Acero, hecho materializado en el año 1959 en Santiago de Chile.



PRESENCIA FEMENINA EN LA INGENIERIA METALURGICA

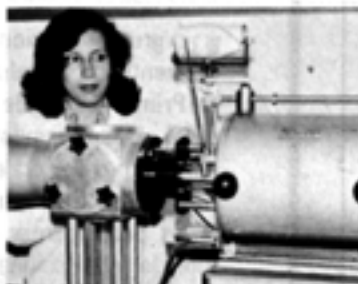
El acceso de la mujer a las carreras de Ingeniería es hoy en día cada vez más frecuente. Sin embargo, hay aún especialidades en las que la presencia masculina es mayoritaria y abrumadora, como es el caso de la Ingeniería Metalúrgica, que tiene como factores comunes las altas temperaturas, exigencia de protección continua, alta contaminación del ambiente de trabajo, y otros efectos de por sí desagradables para la delicada presencia femenina.

A pesar de las inclemencias naturales que la actividad metalúrgica ofrece, es la carrera preferida por un número creciente de exponentes del bello sexo. Así lo confirman los exámenes de grado rendidos recientemente por las egresadas Viviana Torres, Isabel Bravo, Mónica Bermedo y María Franz. Las dos primeras realizaron su tesis experimental

para optar el título de Ingeniero de Ejecución, sobre las variables que influyen en la velocidad de extracción calórica en un sistema metal-molde. Por su parte, las Srtas. Bermedo y Franz trabajaron en un estudio dilatométrico de las aleaciones de aluminio-silicio, con el fin de encontrar el efecto del contenido de silicio sobre las propiedades físicas, dentro del rango comercial.

Las flamantes ingenieras estiman que "en el área de la Metalurgia, el mercado ocupacional de la mujer encuentra grandes restricciones, tanto a nivel empresarial como laboral. A ello se agrega el inconveniente que para la empresa significa la eventual condición maternal, lo que minimiza cualquier esquema que se formule. Los trabajadores, por su parte, suelen objetar incomodidades al ser mandados por mujeres. El machismo opera incluso en los niveles de intelecto".

La comisión examinadora asignó a ambos trabajos calificación óptima.



ALEJAMIENTO DE PROFESOR

Al término de 28 años de dedicación ininterrumpida a la docencia universitaria, se alejó del cargo de Profesor de Jornada Completa de Metalurgia, el Sr. Juan Pinto Correa.

El Sr. Pinto inició su carrera docente en la especialidad de Fundición de la ex Escuela de Artes y Oficios, donde aplicó su experiencia profesional a la enseñanza especializada de la fundición. Durante su estadía en la Universidad contribuyó a la educación superior de cientos de nuestros egresados que abrazaron la carrera de Ingeniería Metalúrgica. A cargo de la asignatura de Principios de Fundición, impartió durante varios años los fundamentos teóricos que gobiernan el proceso de fundición de metales y aleaciones ferrosas y no ferrosas, con una adecuada complementación práctica realizada en el terreno mismo. Al momento de su retiro, el Sr. Pinto se desempeñaba como Jefe del Laboratorio de Fundición del departamento.

A través de CONTACTO, todos sus colegas y amigos de la comunidad metalúrgica expresan a don Juan Pinto Correa, los mejores deseos de éxito en el nuevo derrotero profesional que hoy emprende.

CURSO SOBRE REFRACTARIOS

Durante una semana el profesor Dr. Nelson Santander M., dictó en CAP-HUACHIPATO un curso sobre "Fisico-química de Refractarios", dirigido a altos supervisores y ejecutivos de esa usina. Los principales tópicos tratados durante las sesiones, versaron sobre química y equilibrio heterogéneo en sistemas refractarios, efectos cinéticos y propiedades físicas de los refractarios.

Al curso, que se realizó bajo la coordinación del Ingeniero de Ventas de RECSA y profesor de nuestro departamento, Sr. Gerardo Trepiana Z., fue inaugurado y clausurado

por el jefe del Comité de Refractarios de Huachipato, Ing. Aldo Marisio G.



VISITA DE EXPERTO EUROPEO

Respondiendo a una invitación extendida por el Departamento de Metalurgia, visitó la Universidad Técnica del Estado el profesor alemán Dr. Werner Schreyer, miembro de la Comisión de Selección de la Fundación Humboldt. El profesor Schreyer, experto en Mineralogía y académico de la Universidad de Bochum, tomó contacto con académicos de los departamentos de Química, Minas y Metalurgia, a través de reuniones de trabajo en las que se analizaron diferentes aspectos de interés en el área de ciencias de la tierra.

El experto alemán participó también en un encuentro de ex becarios Humboldt, que se llevó a cabo bajo la coordinación del Instituto Chileno Alemán de Cultura.

PEDAGOGIA UNIVERSITARIA

Un grupo seleccionado de profesores del Departamento de Metalurgia, participó activamente en el Primer Curso de Pedagogía Universitaria, que dictó el Departamento de Pedagogía de la Facultad de Estudios Generales de la Corporación.

El curso tuvo como objetivo principal capacitar a los participantes para diseñar y establecer un modelo instruccional controlando la funcionalidad de los elementos involucrados en una determinada situación de aprendizaje.

Al término del curso, los participantes se sometieron a un instrumento de evaluación, con el propósito de recoger su opinión sobre las materias impartidas y poder así obtener algunas conclusiones sobre la eficiencia de la acción docente. Existió gran coincidencia en señalar la necesidad de conocer y dominar técnicas pedagógicas como ayuda a la enseñanza superior especializada.

JORNADAS DE SOLIDIFICACION

Durante los días 26 y 27 de septiembre pasado, se efectuaron en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Católica de Valparaíso, las Jornadas de Solidificación, conducidas por el experto argentino Ing. Heraldo Biloni. Durante las sesiones técnicas, que contaron con asistencia de varios expertos nacionales en el campo, se

analizaron los planes presentes y futuros de las investigaciones sobre solidificación, que se realizan en la Comisión Nacional de Energía Atómica de Argentina (C.N.E.A.), y se discutieron las relaciones institucionales chileno-argentinas sobre investigación aplicada.

PROGRAMA DE CURSOS ENAMI-PAIPOTE

Con un curso sobre "Mecánica de Fluidos" dictado por el profesor Dr. Munir Dides F., se dio término por el presente año al programa de perfeccionamiento profesional en Metalurgia Extractiva, convenido con la Fundación de ENAMI en Paipote. Los

ingenieros participantes en dicho curso tuvieron oportunidad de actualizar sus conocimientos a través de una adecuada exposición de tópicos, que comprendieron el balance de masa y de energía, flujo sólido y diversas aplicaciones de lo tratado.

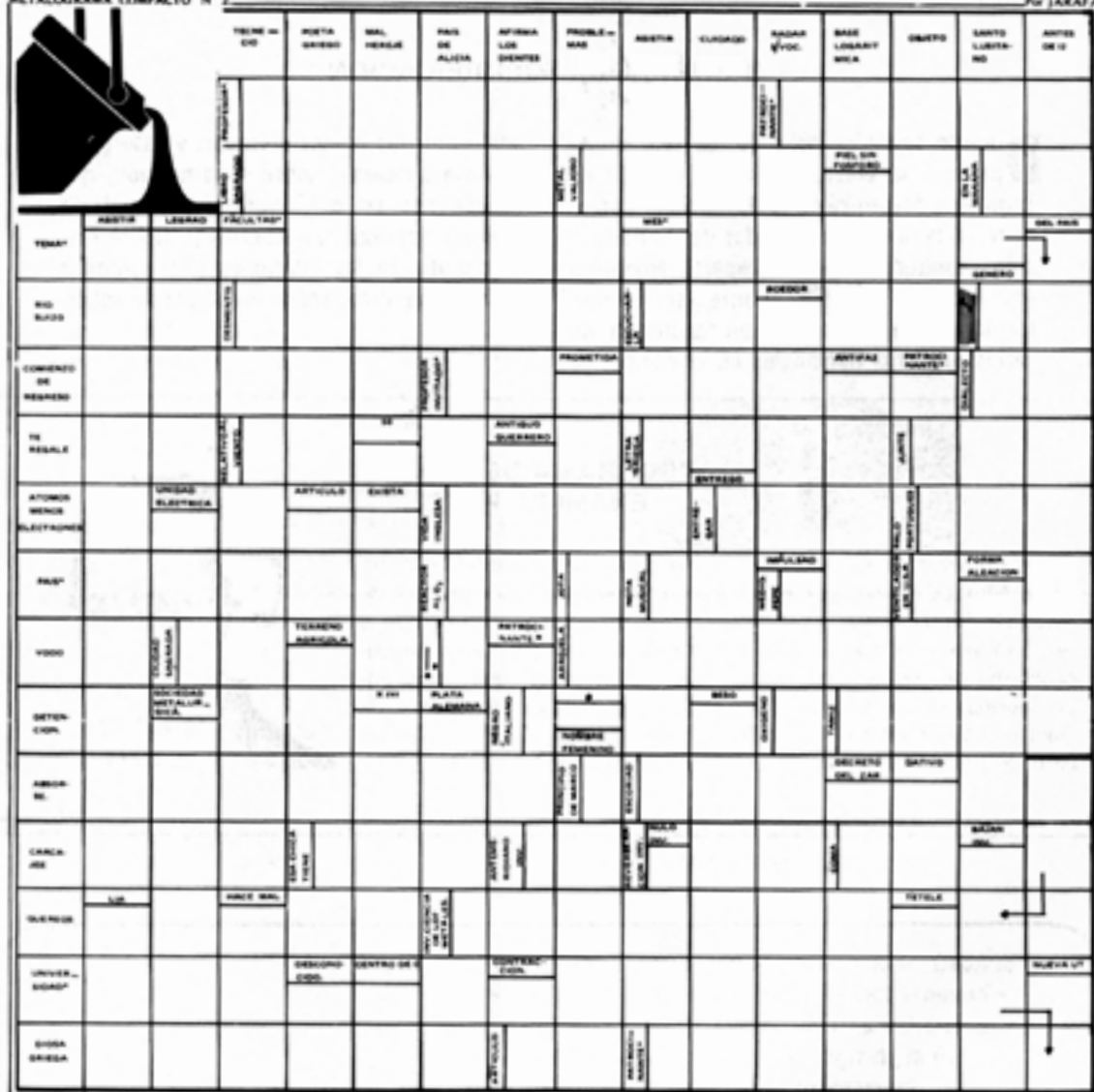


A NUESTROS LECTORES

Con el objeto de completar y mantener al día el kardex de lectores, rogamos a los interesados en seguir recibiendo la revista, escribimos a: Comité de Redacción Contacto; Casilla 10233, Santiago, indicando nombre completo, Lugar de Trabajo, Cargo que ocupa, Dirección de la empresa o industria y/o particular.

METALOGRAMA COMPACTO N° 2

Por JARAFA



PROBLEMA DE INGENIO

Un agente de seguros golpea la puerta de una casa y una persona sale a abrir:

— ¡Buenos días! ¿está la señora?
— ¡No! — contesta la persona que sabó a abrir.
— Bien, no importa. ¿Podría usted decirme las edades de las tres niñas que viven aquí?

La persona no estaba muy segura, porque no era de la casa, sin embargo respondió:

— He escuchado cuando juegan, que el producto de sus edades es 36 años. ¿Le sirve de algo?

El agente pensó un rato y luego dijo:

— Me faltan datos.
— Entonces, pruebe con esto. He escuchado decir que la suma de sus edades es igual al número de la casa de al lado.

Rápidamente, partió el agente, diciéndose que con eso tenía solucionado su problema.

Sin embargo, al poco rato volvió y dijo:

— Desgraciadamente, aún me faltan datos—

— ¡Ah! — dijo la persona — lo olvidaba.

¡Por cierto la mayor tiene los ojos azules!

Entonces el agente partió muy contento porque había cumplido su misión.

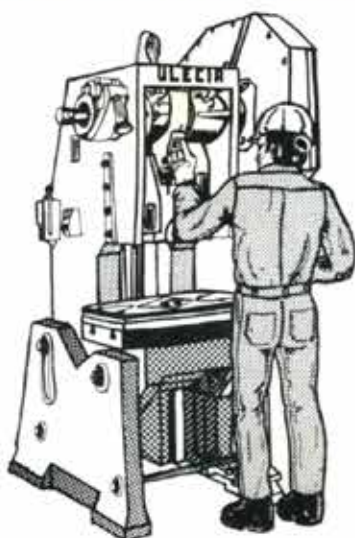
¿Cuáles son las edades?

SOLUCION METALOGRAMA ANTERIOR



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 Importados RÖCHLING de Alemania
- Maquinaria Industrial
- Máquinas - Herramientas
- Herramientas, Accesorios, etc.



Sucursales

Paraguay 851
Fono 23665
Antofagasta

Arturo Prat 1002
Fono 29005
Concepción.

SABIMET S.A.
abastece para el progreso.

Barraca de Hierro
Santa Rosa 2305
Fonos: 568047-8-9

Aceros Especiales
Víctor Manuel 1827-1831
Fono 569045-6

Máquinas Herramientas
Santa Rosa 1838
Fono 569045-6



Badger Meter International Sales, Inc.
Medidores y Controladores de Fluidos.



Peabody TecTank

Estanques prearmados para almacenamiento de fluidos y granos.



RAYMOND

COMBUSTION ENGINEERING, INC.

Equipos para procesamiento de minerales, secadores, molinos, calcinadores, etc.



Peabody Gordon-Piatt

Recuperadores de calor para humos de calderas.



PERMUTIT
SABIMET CORPORATION

Tratamiento de aguas industriales y residuales



MORRIS

Bombas para pulpas e hidrosólidos.



REPRESENTACIONES S.A.

Pedro de Valdivia 233
Fs.: 747426 - 259614
Santiago

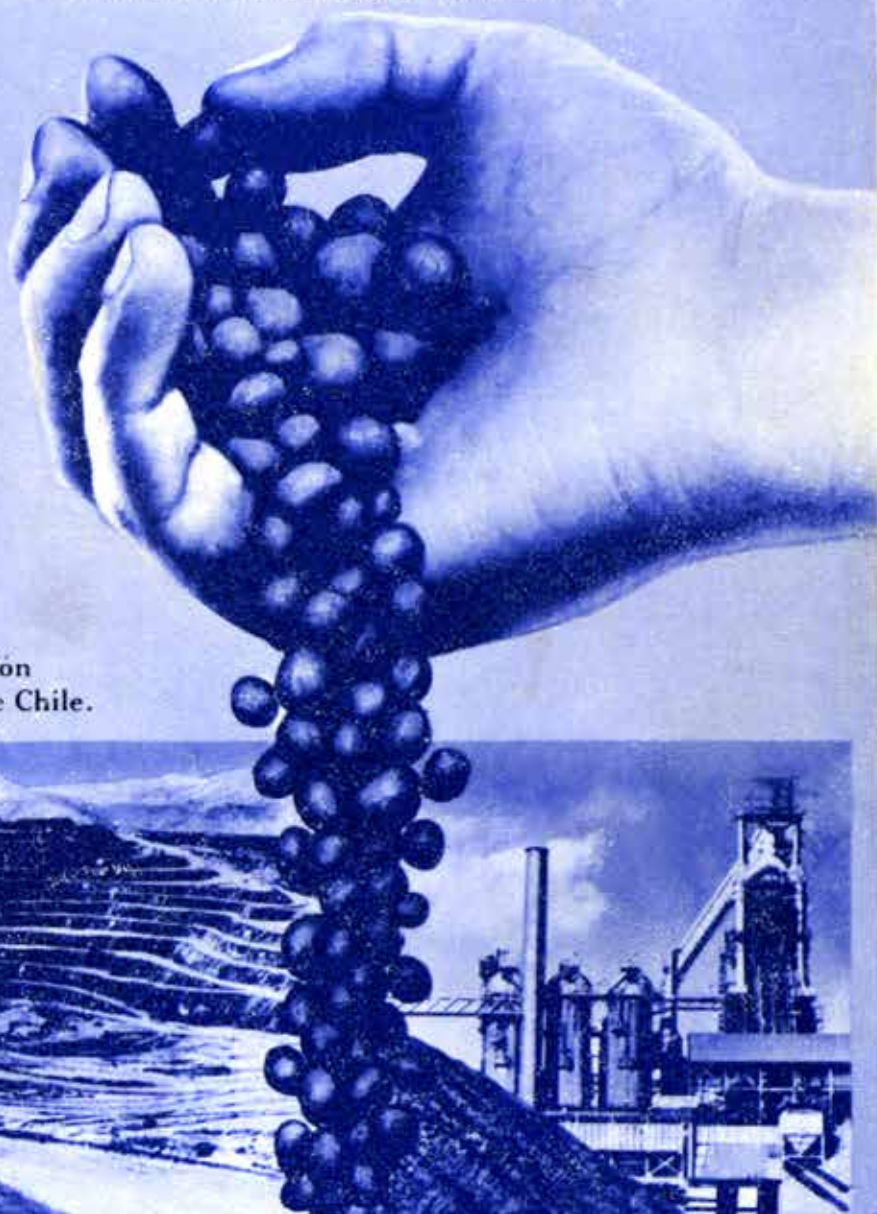


COMPANIA DE ACERO DEL PACIFICO S.A.

ENERGIA CREADORA PARA CHILE

La Compañía de Acero del Pacífico S.A. está presente en las regiones del norte, centro y sur del país generando progreso, recursos y trabajo.

Esta importante fuente de energía creadora tiene su símbolo en el hierro y en el acero; materiales indispensables para el desarrollo de cada una de las regiones de Chile.



CAP

La mejor visión
productiva de Chile.