



REMETALLICA

REVISTA DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA METALÚRGICA
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE - FACULTAD DE INGENIERÍA

JULIO 1993

SANTIAGO/CHILE

Nº 8



DESTACAMOS

- Entrevista Decano Facultad de Ingeniería USACH.
- Ciencia de los Materiales.
- Metalurgia Extractiva

EDITORIAL

No puede ocultarse la profunda alegría que significa estar redactando la editorial de un nuevo número de nuestra Revista REMETALLICA. Han pasado varios años de silencio y en éstos hemos podido valorar el gran significado que ella tiene, principalmente porque mantiene vivo el vínculo entre nuestro Departamento y sus egresados, además de permitir dar a conocer a la comunidad en general nuestro quehacer y desarrollo. Este reencuentro ha sido posible, gracias a la colaboración de numerosas empresas y miembros de la comunidad metalúrgica, de quienes estamos muy agradecidos.

Durante estos años hemos tenido que enfrentar múltiples desafíos, siendo uno de ellos el bajo número de académicos de jornada completa. Además, si se considera el perfeccionamiento académico, actividad constante en nuestro Departamento, de colegas jóvenes, el esfuerzo ha sido aún mayor. En el campo de la docencia, se tuvo que superar el bajo número de alumnos ingresados tanto a la carrera Ingeniería Civil, como a la de Ejecución. Es así, como en los tres últimos años hemos cubierto totalmente los cupos ofrecidos en ambas carreras, incluso este año se aumentaron en diez las vacantes en cada una de ellas. Todo esto ha sido posible, gracias a una labor de extensión intensa orientada a los estudiantes de cuarto medio. En cuanto a la investigación, nuestro Departamento se destaca por presentar una alta productividad en la facultad de Ingeniería, todo ello avalado por la realización de doce proyectos de investigación FONDECYT y dos Internacionales. También, con gran entusiasmo, hemos sido partícipe de la entidad que agrupa a un sin número de colegas relacionados con la actividad de la Fundación.

Por último, estimados amigos, queremos compartir con Uds. nuestro último gran proyecto, la Remodelación del departamento de Ingeniería Metalúrgica. Este significa concentrar todas nuestras dependencias en el sector de la ex escuela de artes y oficios e involucra un costo cercano a los ciento veinte millones de pesos. En ello estamos trabajando, pero necesitamos de vuestra ayuda, y creemos que con el recibo de esta Revista lograremos la motivación suficiente para lograr hacer realidad este proyecto. Esta Revista es de toda la comunidad metalúrgica, alumnos, egresados y académicos, por tanto, tiene que mostrar nuestra identidad, esto es lo que somos.

*Decano Bernd Schulz Eglin:
"HE HECHO LO POSIBLE PARA QUE
LAS AGUAS ENCONTRARAN SUS CAU-
CES NATURALES"*

La Facultad de Ingeniería busca su desarrollo autosustentable.



*JOSE CAMPOS BRAMBILLA
Periodista, Director de Comunicaciones.*



*Decano :
Bernd Schulz Eglin*

Cuando a los 13 años ingresó a estudiar a la Escuela de Artes y Oficios, de pantalones cortos, jamás imaginó que algún día llegaría a ser Decano de Ingeniería de una de las universidades más importantes del país. Tampoco pasó por su mente que años después sería reelegido con una de las más altas votaciones académicas en la Universidad de Santiago de Chile.

El Dr. Bernd Schulz Eglin recuerda con especial cariño su paso por la EAO, de la cual egresó en 1962 con la distinción al mejor alumno del Grado Técnico. También guarda los mejores recuerdos de sus años de estudiante en la UTE, donde en 1965 obtuvo su título profesional de Ingeniero Industrial Metalúrgico.

Recibió los grados académicos de Master of Science (1970) y de Ph.D. en Metalurgia y Ciencia de los materiales en la Universidad de Pennsylvania (1972).

"Soy un producto de esta Corporación y me enorgullezco de ello", expresó el académico, quien en los últimos 25 años ha sido profesor de los cursos de Introducción a la Metalurgia, Fundición, Metalurgia Física, Ciencias de los Materiales, Aceros Especiales y Solidificación de Metales en la UTE, Universidad Técnica Federico Santa María, Pontificia Universidad Católica de Chile y Universidad de Santiago.

DESARROLLO AUTOSUSTENTADO

En una entrevista concedida a "Remetallica", el Dr. Schulz puntualizó que nuestra tarea en este momento es lograr un desarrollo sustentado o autosustentado de la facultad de ingeniería. Para eso, creemos nosotros que es fundamental ir hacia una descentralización administrativa y financiera de la facultad respecto a la Universidad".

Explicó que la razón para plantear esta iniciativa es que "debemos saber con certeza cuáles son nuestros recursos dentro de un plazo mediano. Debemos sentir que nosotros somos responsables y maestros de nuestro futuro, que lo que nosotros implementemos podamos disponer de los frutos y

que haya incentivos de hacer más porque con eso se obtienen más resultados y evidentemente más recursos”.

“O sea -agregó- que el proceso hace que uno diga que vale la pena el esfuerzo, porque eso nos da mayores beneficios. Debemos poder cerrar el círculo esfuerzo-beneficio al nivel más cercano a las personas. Ese es el quid o el corazón de la descentralización”.

Sin embargo, el decano indicó que “este proceso es fácil declararlo, pero es bastante complejo llevarlo a la práctica. Sabemos que hay otras Facultades de la Universidad que ven esto más bien como una amenaza más que como una ventaja.

“Para nosotros, la facultad de ingeniería -dijo-, esto es fácilmente una ventaja, porque tenemos una

gran cantidad de estudiantes de buena calidad que demandan nuestra atención, para lo cual ellos aportan ingresos”.

“Por consiguiente -subrayó-, nosotros vemos ahí que esforzándonos en atraer mejores estudiantes obtendremos un mejor aporte fiscal indirecto, que es una variable sobre la cual incide el financiamiento. De esta manera, es nuestra aspiración que exista una relación entre el aporte fiscal indirecto que recibe la universidad y el presupuesto que se le asigna a la Facultad”.

El Dr. Bernd Schulz manifestó que otra de las aspiraciones para su Unidad es tener una relación entre los aranceles que recibe la Universidad por los estudiantes que estudian ingeniería y el presupuesto que tiene la Facultad para poder llevar adelante sus proyectos”.

PROGRAMAS VESPERTINOS

De esta manera, la facultad de Ingeniería lleva adelante también programas vespertinos de algunas carreras; son un ejemplo de programas especiales que se desarrollan financieramente descentralizados, tienen una demanda que permite vincular el esfuerzo con los beneficios.

En su conversación con “Remetallica”, el Decano insistió en que debe buscarse por un lado, un desarrollo armónico en cada uno de los departamentos, entre la investigación, la asistencia técnica y la formación profesional de los ingenieros, porque estas tareas se alimentan mutuamente entre sí.

“Haciéndose investigación -dijo-, se permite crear conocimientos, tener académicos vigentes en el desarrollo de sus respectivas disciplinas y su vinculación con el sector productivo”.

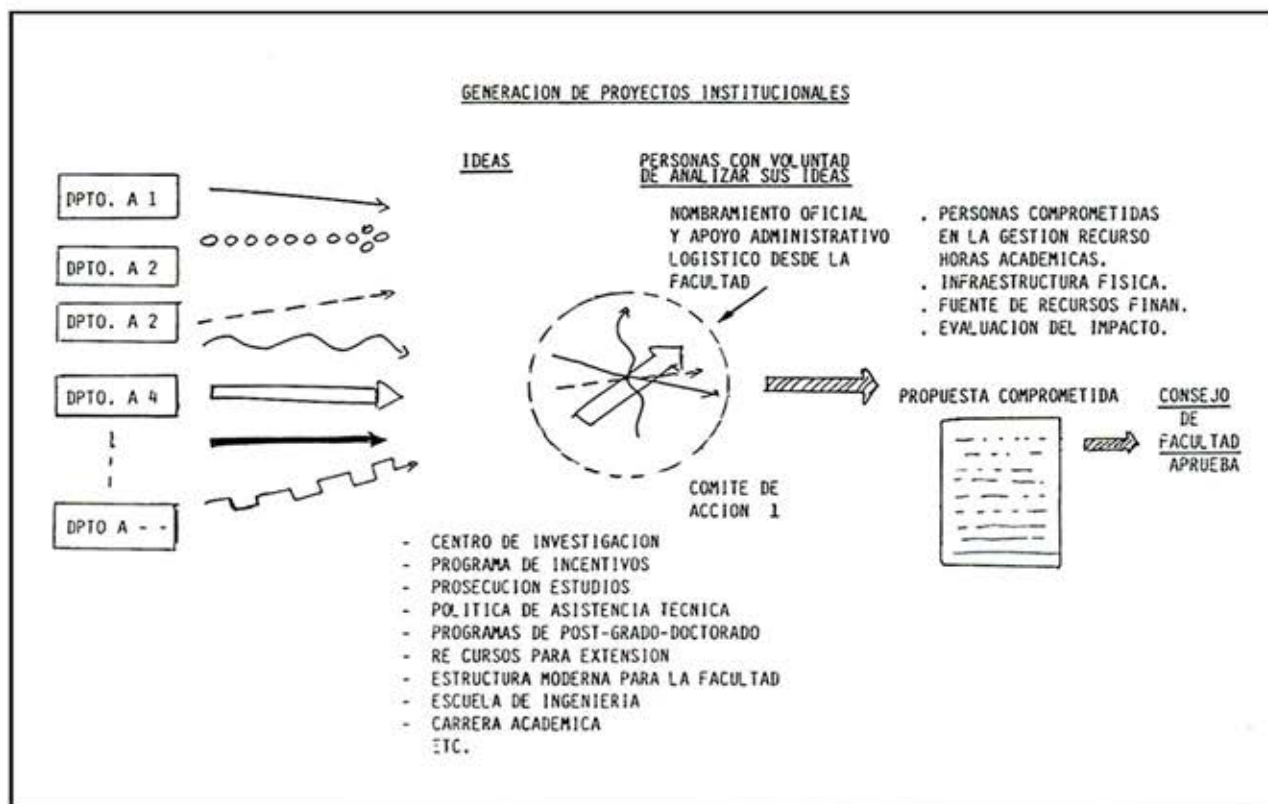
Esta situación los hace estar conscientes de las necesidades a nivel nacional, lo que permitirá formar entonces un ingeniero moderno, actualizado y conocedor de las necesidades del país en el cual le va a tocar desempeñarse como profesional.

Explicó que “no obstante, todavía no es suficiente para un desarrollo institucional, porque esto también puede dar solo desarrollos locales en cada uno de los departamentos y lo que se necesita ahora es la asociación o el encuentro entre académicos de diferentes departamentos en proyectos institucionales”.

“Este no es un proceso necesariamente espontáneo, sino que se produce por incentivos, por motivación y, en estos momentos, se deben dar motivaciones para entusiasmar a los académicos para que trabajen en tareas comunes, tarea que no se puede hacer por instrucciones, ‘por mandatos o por obligaciones”.

“Esta no es solo una tarea de una persona que tenga una idea brillante o novedosa, ya que no por ello va a encontrar automáticamente a un grupo de personas que lo van a seguir. Evidentemente hay que dar condiciones para que el proceso sea sostenido para tener un desarrollo institucional como el que deseamos”, agregó el Dr. Schulz.





SE NECESITA UNA GESTION MAS DESCENTRALIZADA

El académico dijo que "para nosotros es imprescindible una gestión más descentralizada, para tener, justamente, los recursos disponibles para poder hacer nuestros proyectos. El otro aspecto es cómo crear, cómo inducir a la gestión de un proyecto institucional".

Sostuvo que habría dos formas de hacerlo: "una de ellas es decir, señores, hagan proyectos institucionales, donde se hace un llamado diciéndoles que es importante hacerlo y después uno espera por si acaso ocurre algo".

"Eso -dijo en forma metafórica- sería confiar en la espontaneidad total, pensando que en forma natural, en el fondo, las aguas van a confluir a formar un cauce que tenga varias alimentaciones simultáneamente, porque la naturaleza lo lleva por ese lado".

"La otra -argumentó- es hacer en forma artificial un cauce no preestablecido para que las aguas se vayan por ahí y cerrar otros para que las aguas no se escurran".

"Y de esto -ilustró-, tenemos un ejemplo de nuestra naturaleza que en absoluto es exitoso, los aluviones, que justamente, se fueron por los cauces mas naturales que existen y que el hombre había desechado en su oportunidad".

"Pero, si pensamos que los cauces se van a hacer cuando vengan los aluviones, entonces tendríamos que esperar que en forma espontánea

ocurrieran estos fenómenos, con los que tendríamos un problema no deseado y estos extremos estamos viendo que no sirven".

LOS CAUCES DEBEN CONFLUIR HACIA UNA TAREA INSTITUCIONAL

El Decano de ingeniería explicó que se deben crear las condiciones para que las iniciativas confluyan hacia una tarea institucional. Justamente -insistió- un ejemplo de cómo no debe hacerse, es a través de crear una comisión en la cual estén representados todos los departamentos y se les encarga que hagan una investigación interdisciplinaria, porque esto puede ser algo artificial y llevara al fracaso.

"Hay que buscar un camino más eficiente y ese camino es ayudar a vencer los obstáculos que permiten la asociación espontánea o la formación de consorcios de iniciativas, un consorcio de departamentos que tienen áreas e intereses comunes en algunos aspectos", aseveró el académico.

Al respecto, indicó que ya existen ejemplos de ello, como es el programa de Magister en Ciencias de la Ingeniería que no involucra a todos los departamentos como tales, sino que integra a los académicos de los diferentes departamentos con este propósito.

Dijo que, en este instante el post grado está principalmente visible en departamentos como Química, Metalurgia, Mecánica, Electricidad y hay cola-

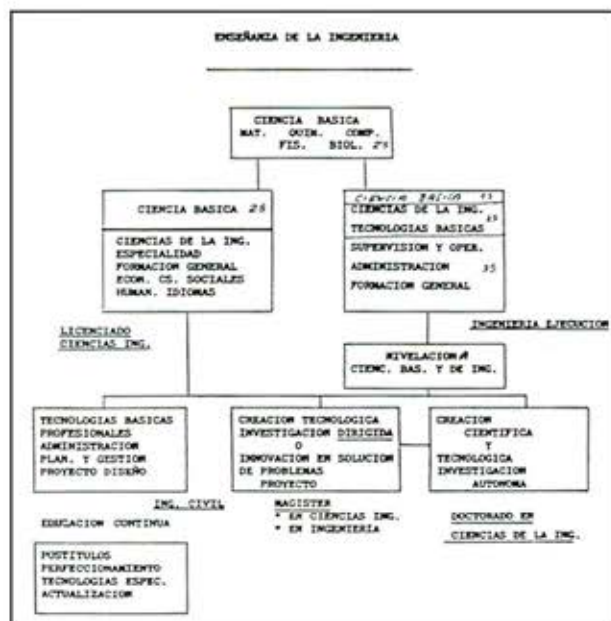
boradores de los departamentos de Informática, Industrias, y Geografía.

El académico afirmó que el post grado se ha dado con una orientación mas bien hacia la ciencia de la Ingeniería y concita el interés de los departamentos en los cuales la investigación está desarrollada con mejores resultados.

"En otros departamentos se ha dado el desarrollo de los postítulos que no están basados en la investigación, sino en el desarrollo profesional por una demanda de un mayor conocimiento especializado por profesionales que tienen que desarrollarse y que no necesariamente les signifique acumulación de conocimiento por investigación, sino por la práctica de la profesión".

De esta forma, dijo que una de las vías que se analizan es la creación de un programa de Magister o de Master en Ingeniería, o sea, un Magister mas profesional, un Magister basado en el desarrollo profesional y no en el desarrollo de la Ciencia de la Ingeniería y que es demandada en una especialidad específica.

"Esto va a atraer a los departamentos para que sean protagonistas del Magister, dándoles la oportunidad de seguir una nueva fase de desarrollo de aquellos que pusieron énfasis en programas de postítulo.



FLEXIBILIDAD EN LA OFERTA DOCENTE DE PRE Y POS-GRADO

Las raíces de la Facultad de Ingeniería nos da la tradición tecnológica mas que centenaria con la Escuela de Artes y Oficios, con su grado de Técnico y luego la escuela de Ingenieros Industriales, desarrollada producto de la demanda de los alumnos por saber mas y ser más, que culminó con la creación de la Universidad Técnica del Estado. Es necesario

no perder estas opciones de continua superación intrínseca en nuestras estudiantes y abrir con más claridad las distintas vías conectando la Ingeniería de Ejecución, la licenciatura en Ciencias de la Ingeniería, la Ingeniería Civil y el Post Grado para aquellos que lo demanden y que tenga la necesaria capacidad y motivación. Esta flexibilidad es un legado que nos ha dejado la historia de nuestra institución, yo personalmente me siento una persona que tuvo el privilegio de beneficiarse con ello.

LA FACULTAD, HOY

Hoy estamos en una Facultad en que cada Departamento está involucrado en lo que sus potenciales le permiten desarrollar y hacer florecer del mejor modo. Algunos pusieron énfasis en la investigación, otros en la asistencia técnica, otros en novedosas actividades de docencia, ofertas de capacitación profesional, programas de posgrado, y algunos, en varias de estas actividades simultáneamente. Es verdad que algunas propuestas aún no han podido ser materializadas, pero si las analizamos con atención, vemos que todas ellas requerían recursos financieros de los que no hemos podido disponer hasta ahora, "expresó el Decano en otra parte de la entrevista, al destacar lo que calificó como "necesaria descentralización de recursos financieros y una autonomía para poder disponer de ellos".

El Dr. Schulz dijo que en esta nueva etapa de su Decanato, impulsará la creación de Comités de Acción en áreas donde es necesaria la participación de los académicos para que confluyan en la mejor forma sus iniciativas y sus propuestas, que irán en directo beneficio de la Universidad.

"Considero de vital importancia el crear una instancia de reflexión para esta Facultad, que concita el interés de los más destacados académicos en un comité que con visión de futuro proponga acciones para proyectar la Facultad en el mediano y largo plazo y, entre otras materias, facilite el relevo de las autoridades de ella, interesando a los académicos más relevantes hacia esa responsabilidad", puntualizó.

EL FUTURO DE METALURGIA

El Decano, como metalurgista que es, no ocultó el cariño que siente hacia el Departamento de Ingeniería Metalúrgica de nuestra Universidad, donde ha ejercido la docencia por largos años. Señaló que "gracias a las iniciativas entregadas por esta unidad académica, Metalurgia está en un desarrollo con gran potencialidad, donde se está consolidando un grupo de jóvenes académicos con formación al más alto nivel de Doctorado, que están muy activos en sus diferentes disciplinas".

"Esta situación hace que se potencien aquellos grupos de investigación que ya existían anteriormente, lo que habla muy bien de la capacidad de los investigadores", expresó el Decano conmovido por lo que está haciendo la unidad.

Agregó que actualmente, Metalurgia se encuentra en la mitad de un proyecto de desarrollo de la infraestructura de edificación que la volverá a reinserirse en las raíces propias, en torno al Taller de Fundición, con instalaciones modernas gracias a un apoyo visionario de los fondos centralizados de construcciones que encontraron una vía para un desarrollo sostenido. Agregó que ya se está iniciando una tercera etapa de habilitación de ese espacio.

UNIDAD EN MUY BUEN PIE

"Veo muy auspicioso el futuro de este departamento académico, que está en muy buen pie, ya que está inserto en el programa de posgrado con sus actividades de investigación y también con su vinculación con el medio externo a través de la demanda que ha tenido en cursos dirigidos al sector productivo", manifestó el Dr. Schulz.

Mencionó en forma especial, una iniciativa importante que nació de los egresados de la especialidad, como es la Asociación de Fundidores de Chile, que ya cuenta con su personería jurídica y cuyos integrantes se reúnen en forma regular. "Esta asociación constituye un lugar de encuentro entre profesores de esa área y los egresados, que es un área muy tradicional de este departamento, que reviste un gran interés y tiene mucho potencial para el desarrollo de esa área a nivel industrial", indicó.

El Decano puntualizó que era necesario destacar los proyectos del área de Metalurgia Extractiva, que ha alcanzado un gran auge con la firma del convenio suscrito entre la Universidad y la Sociedad Nacional de Minería (SONAMI). "En esta área -dijo- se está trabajando en proyectos específicos con varios establecimientos mineros, que cuentan con un respaldo y un financiamiento, y con recursos humanos provistos por los académicos de este departamento".

INTERES POR PROMOVER LA ESPECIALIDAD DE METALURGIA

En la conversación, el académico destacó la preocupación evidenciada por la comunidad metalúrgica de esta Universidad por dar a conocer la especialidad, que si bien es antigua ya que se inició prácticamente con la creación de la Escuela de Artes y Oficios en su especialidad de Fundición, sigue siendo poco conocida para los estudiantes de la enseñanza media.

"El estudiar Metalurgia para ellos sigue siendo un tanto desconocido, pues no saben cuál es el campo de acción del Ingeniero Metalúrgico. Es mucho más fácil para los alumnos saber qué es un mecánico, un eléctrico o qué es la Informática, aunque después ellos mismos se dan cuenta que lo que creían que era, no era así", señaló.

Parodiando un poco al joven que sube a un microbús, el Decano señaló que el estudiante puede inmediatamente vincular al metalúrgico con la fabricación de carrocerías de microbuses al leer el llamativo letrero del fabricante "Industrias Metalúrgicas...", ¿qué será esta especialidad?... ¿Será que uno estudia para soldador?... y esto para él es algo confuso, subrayó.

"Por consiguiente, -reiteró- a sido muy importante el dar a conocer constantemente a través de charlas y de contacto directo con los estudiantes de enseñanza media el promover lo que es la metalurgia y, en este sentido, ha habido una acción muy específica, pero que ha sido muy exitosa".

"En los últimos años los cupos de ingresos a Metalurgia están todos copados y con listas de espera significativamente extensas, situación que no era así hace algunos años. O sea, aquí hubo una acción correctiva muy eficiente y a tiempo que es un mérito de todos quienes trabajan en Metalurgia", concluyó el académico.

JOSE CAMPOS BRAMBILLA

Periodista, Director de Comunicaciones.



LA METALURGIA FISICA DE LA DEFORMACION EN CALIENTE.

J.J. Urcola Galarza
Centro de Estudios e
Investigaciones Técnicas de
Guipúzcoa
Apartado 1555, 20080 SAN
SEBASTIAN
Escuela Superior de
Ingenieros Industriales
(Universidad de Navarra)
Apartado 1674, 20080 SAN
SEBASTIAN

INTRODUCCION

El conformado en caliente ha tenido por objeto el dar las formas adecuadas a las piezas sin preocuparse de las propiedades mecánicas. Un tratamiento térmico posterior conferiría las propiedades mecánicas adecuadas para la aplicación específica a la pieza.

Los tratamientos termomecánicos tienen por objeto la mejora de las propiedades mecánicas de los materiales controlando los procesos de deformación en caliente que originalmente estaban diseñados exclusivamente para producir la forma externa del producto. La laminación controlada, el enfriamiento controlado tras la deformación en caliente y el temple directo son ejemplos de tratamientos termomecánicos.

Aunque algunos tratamientos termomecánicos surgieron de forma totalmente empírica, los avances en la Metalurgia Física de la Deformación en Caliente han resultado decisivos en el desarrollo de los mismos. Los logros de la Metalurgia Física de la Deformación en Caliente no sólo han permitido conocer la influencia de las variables de deformación en la resistencia y microestructura en forma de tendencias, sino que ha desarrollado relaciones cuantitativas entre las mismas, lo que ha permitido el desarrollo de modelos de computador que predicen con mucha precisión la evolución de la microestructura en una compleja operación industrial.

El modelar mediante computador los procesos de deformación en caliente precisa por una parte del uso de modelos que permitan determinar los valores de los parámetros macroscópicos de la deformación: temperatura, cantidad de deformación, velocidad de deformación y por otra parte de modelos para la evolución microestructural bien sea tras la deformación y/o en el tiempo que transcurre entre pasadas en el caso de una operación discontinua como la de la laminación o forja. Estos modelos últimos se han desarrollado a partir de datos obtenidos de ensayos de laboratorio.

A partir de los primeros estudios de los cambios microestructurales (Jonas et al 1969, Sellars and Tegart 1972) quedó clara la influencia de parámetros

como la cantidad de deformación, velocidad de deformación, temperatura y tiempo de permanencia en los cambios microestructurales tras la deformación. También se puso rápidamente de manifiesto la influencia del tamaño de grano inicial (Sellars y Whiteman 1974).

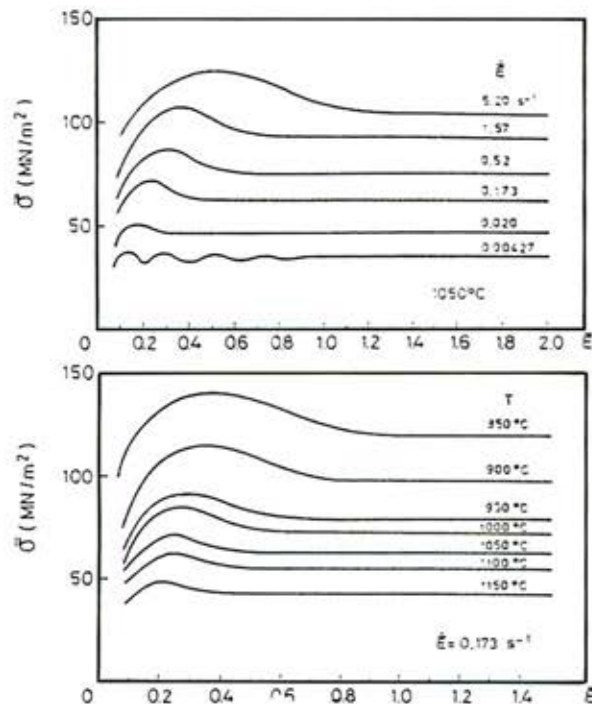
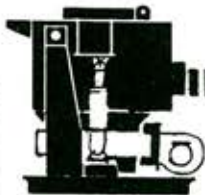


Fig. 1

Hoy en día se conocen con mucho detalle los principios de la metalurgia física de la deformación en caliente. Se sabe que durante la misma el endurecimiento por deformación viene compensado, por lo menos en parte, por los fenómenos de ablandamiento dinámico de restauración y recrystalización. Estos cambios estructurales dinámicos dejan al material en un estado inestable dando paso a los fenómenos estáticos de restauración -en general poco importantes tras la deformación en caliente-, de recrystalización y de crecimiento del tamaño de grano tras la recrystalización.

La aplicación de estos principios a los procesos industriales requiere del conocimiento, por una parte del tiempo necesario para completar la recrystalización tras la pasada y por otra parte del tamaño de grano producido tras la recrystalización y el crecimiento de grano. Estos parámetros determinan la estructura del material que entra en la siguiente pasada y por tanto además de los esfuerzos necesarios para deformar el material, la estructura y las propiedades de los productos deformados.

Recientemente (Sellars y Whiteman 1979, Sellars 1980, Ruibal, Urcola y Fuentes 1985) se han publicado relaciones que ligan el tiempo para la recrystalización, el tamaño de grano recrystalizado y el crecimiento del tamaño de grano con los parámetros macroscópicos de deformación: temperatura, velocidad y cantidad de deformación y variables microscópicas como el tamaño de grano inicial para diversos aceros C-Mn, C-Mn-Nb y aceros de baja aleación.



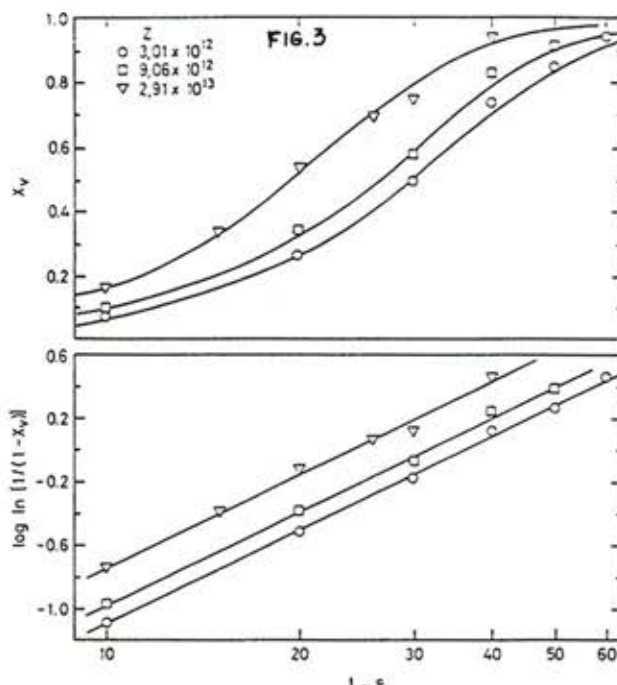
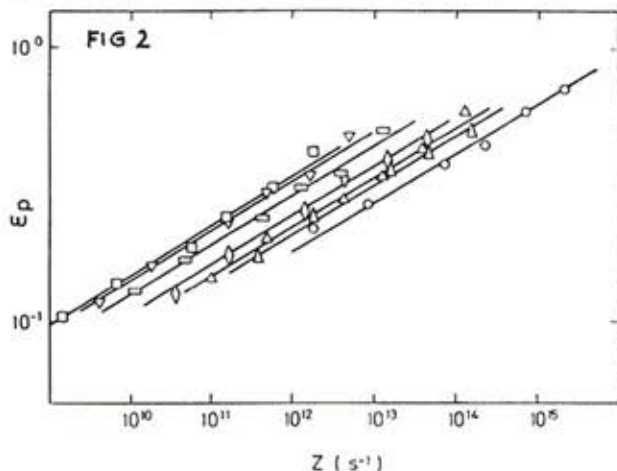
HECOS-CHILE

*Fabricación de Hornos de Inducción
Equipos de Fundición
Colada Continua
Grifería*

AV. PEDRO AGUIRRE CERDA 4255C - FONO: 6832296 - FAX: (562) 6832396
CERRILOS / SANTIAGO

CAMBIOS ESTRUCTURALES DINAMICOS.

La Fig. 1 muestra una serie de curvas tensión deformación a temperatura y velocidad de deformación constantes típicas de un acero de baja aleación (F1250, AISI 4130) ensayado en torsión. Estas curvas son similares a las encontradas en otros aceros en estado austenítico. En ellas se observa que tras un rápido incremento en la tensión inicial se alcanza un máximo de tensión (E_p), siempre para una deformación superior a la de comienzo de la recristalización (E_c). La relación entre E_p y E_c ha sido analizada por diversos autores (Rossard 1974, Le Bon et al 1973, 1975, Nazabal, Urcolay y Fuentes 1987). En la Fig. 1 se puede observar también que la deformación máxima aumenta al aumentar la velocidad de deformación y disminuir la temperatura y en general como se muestra en la Fig. 2 con el parámetro de Zener-Hollomon, que agrupa en un único parámetro la influencia de la velocidad de deformación y la temperatura:



$$Z = E \cdot \exp Q_{def}/RT$$

donde Q_{def} es la energía de activación para la deformación en caliente y toma un valor de 315 kJ/mol para el presente acero F1250 (Ruibal, Urcola y Fuentes 1984) y valores de alrededor de 300 kJ/mol para una gama de aceros C-Mn (Sellars 1980). También en la fig. 2 se observa que la deformación máxima (e_p) depende del tamaño de grano inicial (d_0). En general la dependencia es del tipo:

$$E_p = A d_0^a Z^b$$

donde para el presente acero F1250 resultan $A = 1.25 \times 10^{-4}$, $a = 0.75$ y $b = 0.183$ y en cambio para los aceros C-Mn resultan $A = 5 \times 10^{-4}$, $a = 0.5$ y $b = 0.15$, para los aceros C-Mn-Nb Sellars 1980 propone una dependencia similar a la de los aceros C-Mn con un valor de A 1.3 veces superior cuando los NbCN están disueltos y valores 2 o incluso 3 veces superiores cuando están presentes dichos precipitados.

RECRISTALIZACION ESTATICA.

Tiempo de recristalización

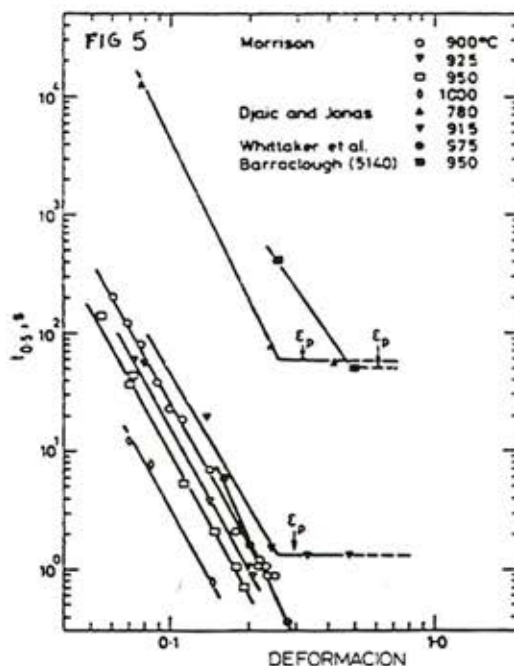
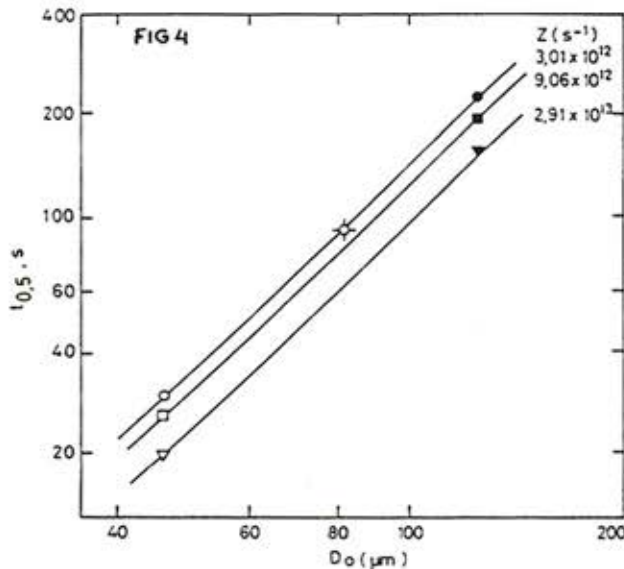
En la Fig. 3 se muestra la evolución de la fracción recristalizada frente al tiempo para diferentes valores del parámetro de Zener-Hollomon en un acero F1250 con un tamaño de grano inicial constante de 46 μm y una temperatura de recristalización constante 952°C. En la Fig. 3 b se han representado los datos de acuerdo con la ecuación de Avrami:

$$X = 1 - \exp - \beta t^k \quad (1)$$

en la que X representa la fracción recristalizada, t el tiempo de recocido, β y k se obtienen a partir del gráfico, resultando un valor de $k=2$, de acuerdo con los datos de materiales que restauran dinámicamente.

Aunque los parámetros de la ecuación de Avrami se podrían utilizar para analizar la influencia de los parámetros microestructurales y de deformación, no obstante se suele utilizar más frecuentemente un parámetro de tiempo para alcanzar una determinada fracción recrystalizada (t_x) y generalmente el tiempo para recrystalizar el 50% del material ($t_{0.5}$).

La Fig. 4 muestra la dependencia del $t_{0.5}$ del tamaño de grano inicial. Se observa que conforme aumenta el tamaño de grano, aumenta también el tiempo de recrystalización, poniéndose de manifiesto también una pequeña influencia del parámetro de Zener-Hollomon. La influencia del tamaño de grano inicial se puede justificar teniendo en cuenta que la nucleación para la recrystalización tiene lugar



preferentemente en las juntas de grano y por tanto la densidad de posibles lugares de nucleación aumenta conforme disminuye el tamaño de grano. La relación funcional que resulta de la Fig. 4 es:

$$t_{0.5} \propto d_0^2$$

y es similar a la encontrada por otros autores (Barracough and Sellars 1979).

En la Fig. 5 se muestra la influencia de la deformación en el tiempo para recrystalizar el 50% en el caso de aceros C-Mn (Sellars 1980). Se puede observar en la misma que para deformaciones inferiores a E_c , la dependencia es del tipo

$$t_{0.5} \propto E^{-4}$$

Un parámetro muy importante y que no se ha considerado todavía es la temperatura de recrystalización. En las Fig. 6 se muestra la influencia de la temperatura en el tiempo de recrystalización para el acero de baja aleación F1250. Los datos experimentales se pueden ajustar a una ecuación del tipo:

$$t_{0.5} \propto \exp Q_{rex}/RT$$

con $Q_{rex} = 274$ kJ/mol para el caso del acero F1250. Para el caso de aceros C-Mn se ha encontrado un valor medio para la energía de activación para la recrystalización de $Q_{rex} = 300$ kJ/mol.

Resumiendo en una sola ecuación la influencia de las diferentes variables en el tiempo de recrystalización se puede obtener una expresión:

$$t_{0.5} = BE^{-a}Z^{bc} \exp Q_{rex}/RT$$

En el caso del acero de baja aleación analizado en el presente trabajo, en la zona de restauración dinámica $e < 0.8E_p$:

$$a=4, b=0.18, c=2, Q_{rex}=274 \text{ kJ/mol.} \\ \text{y } B=2.3 \times 10^{-15}$$

Para aceros C-Mn (Sellars 1980) se han encontrado valores:

$$a=4, b=0, c=2, Q_{rex}=300 \text{ kJ/mol.} \\ \text{y } B=2.5 \times 10^{-19}$$

Para deformaciones superiores al inicio de la recrystalización $E > 0.8E_p$, Sellars 1980 propone para el tiempo del 50% de recrystalización en aceros C-Mn:

$$t_{0.5} = 1.06 \times 10^{-5} Z^{0.6} \exp 300000/RT$$

Para el caso de aceros C-Mn-NB Sellars 1980 ha propuesto diversas ecuaciones para la cinética de recrystalización para diversas temperaturas.

Así, para temperaturas superiores a los 1000°C

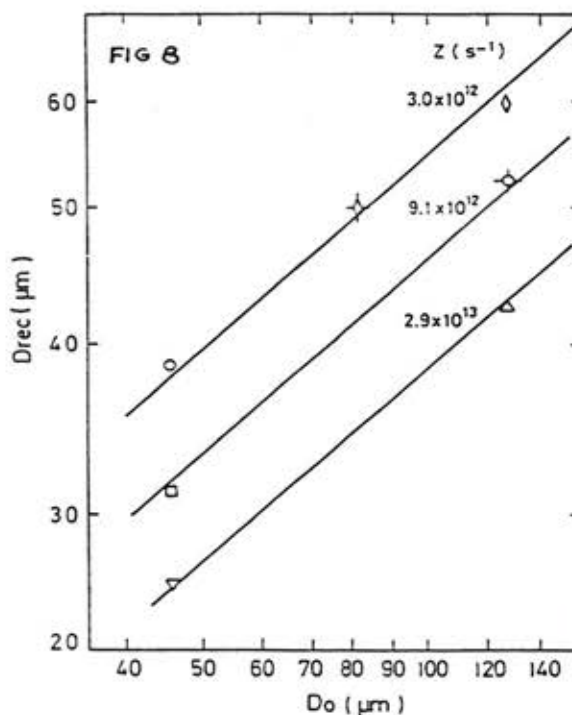
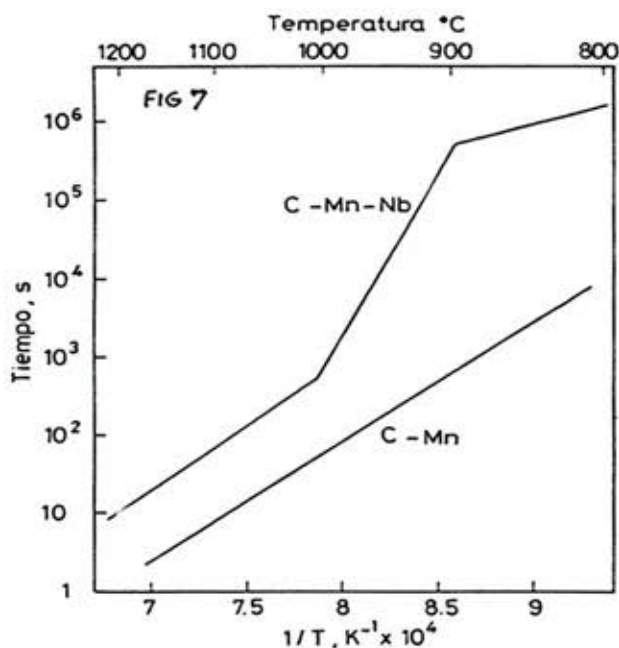
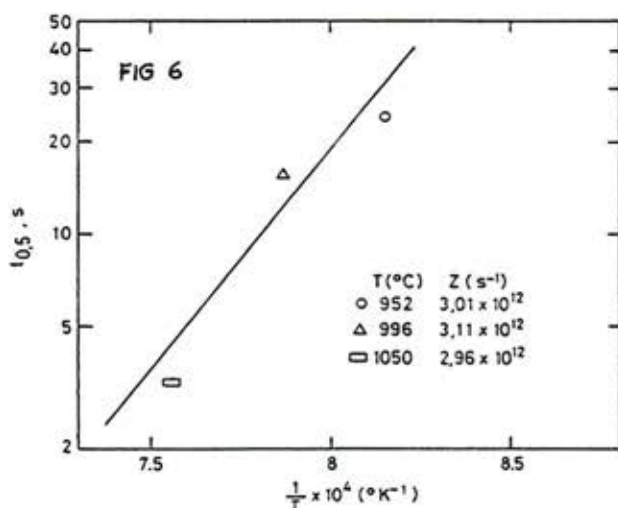
$$Q_{rex} = 325 \text{ kJ/mol y } B = 2.5 \times 10^{-19}$$

en cambio para temperaturas inferiores a 1000°C pero superiores a 890°C

$$Q_{\text{rex}} = 780 \text{ kJ/mol y } B = 6 \times 10^{-38}$$

y para temperaturas inferiores a los 890°C

$$Q_{\text{rex}} = 130 \text{ kJ/mol y } B = 9.2 \times 10^{-9}$$



En la Fig. 7 se comparan los tiempos para el 50% de recrystalización en función de la temperatura para los aceros C-Mn y los aceros C-Mn-Nb, (suponiendo $E = 0.15$ y $d_0 = 220 \mu\text{m}$) observándose claramente el retardo que en la recrystalización produce el Nb sobretodo a bajas temperaturas.

Tamaño de Grano Recrystalizado.

De la misma manera en que se ha estudiado la influencia de los parámetros de deformación y del tamaño de grano inicial en el tiempo de recrystalización, se ha analizado también la influencia de los mismos parámetros en el tamaño de grano recrystalizado.

En la Fig. 8 se muestra la influencia del tamaño de grano inicial en el tamaño de grano recrystalizado, como era de esperar un tamaño de grano inicial más fino, al suministrar un mayor número de lugares de nucleación produce un tamaño de grano recrystalizado menor. Por otra parte, en dicha figura se observa también una pequeña influencia del parámetro de Zener-Hollomon (Z) en el tamaño de grano recrystalizado. La dependencia funcional se puede resumir en la ecuación:

$$d_{\text{rex}} \propto d_0^{0.48}$$

En la Fig. 9 se muestra la influencia de la deformación en el tamaño de grano recrystalizado. Un aumento de la deformación lleva a una disminución del tamaño de grano, mediante una dependencia:

$$d_{\text{rex}} \propto E^{-1}$$

Se debe destacar que en general la temperatura de recrystalización no suele tener una influencia -por lo menos importante- en el tamaño de grano recrystalizado.

Agrupando todas las dependencias encontradas para el tamaño de grano recrystalizado, se puede plantear una ecuación:

$$d_{rex} = C e^{-Z^{-g} d_0^{-h}}$$

Para deformaciones inferiores a ϵ_c , en el caso del acero de baja aleación F1250 los valores de los parámetros son:

$$f = 1, g = 0.16, h = 0.48 \text{ y } C = 87$$

para los aceros C-Mn en cambio:

$$f = 1, g = 0, h = 0.67$$

variando C de 0.35 a 0.83 para diversos autores.

Para los aceros C-Mn-Nb para temperaturas $T > 950^\circ\text{C}$:

$$f = 0.67, g = 0, h = 0.67$$

variando C de 0.66 a 1.8 para diversos autores.

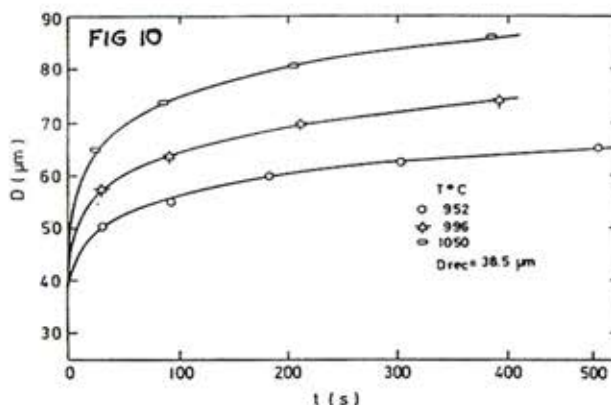
En el caso de la recrystalización estática tras la deformación del material dentro de la región de la recrystalización dinámica, el tamaño de grano recrystalizado resulta:

$$d_{rex} = 1.8 \times 10^3 Z^{-u}$$

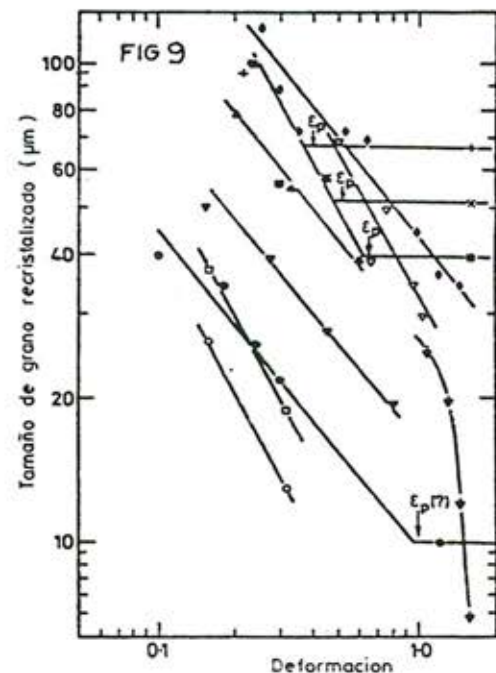
donde u toma valores de 0.13 para un acero 4130 (Barraclough 1974) y 0.16 para aceros C-Mn (Sellars 1980)

Crecimiento de Grano.

Con la sustitución del material deformado por el recrystalizado no concluyen los procesos que tienen lugar a temperaturas elevadas en los materiales tras la deformación en caliente. El material recrystalizado puede disminuir su energía presentando una menor superficie de grano por unidad de volumen, lo que se consigue aumentando el tamaño de grano. En la Fig.



10 se muestra la evolución del tamaño de grano en función del tiempo transcurrido una vez concluida la recrystalización. Los datos experimentales de dicha curva se pueden ajustar a una relación del tipo:



$$d^{10} = d_{rex}^{10} + At$$

donde d representa el tamaño de grano en un tiempo t después de completada la recrystalización, y d_{rex} el tamaño de grano recrystalizado, A es un parámetro dependiente de la temperatura de la forma:

$$A = A_0 \exp \{Q_{cg}/RT\}$$

para el caso del acero de baja aleación analizado en el presente trabajo, $A_0 = 5.3 \times 10^{32}$ y $Q_{cg} = 400$ kJ/mol. Esta dependencia de exponente 10, que no puede justificarse teóricamente, se ha encontrado también en otros aceros C-Mn (Foster 1982). En el caso de los aceros C-Mn-Nb a temperaturas por debajo de los 1200°C el crecimiento de grano es prácticamente despreciable (Sellars 1980). El crecimiento de grano es también despreciable en aceros con finos precipitados de TiN (Beynon y Sellars 1984).

La obtención de todas estas ecuaciones ha permitido el desarrollo de modelos de computador que permitan predecir la evolución de la microestructura a lo largo de una operación complicada de deformación en caliente. La Fig. 11 muestra los cambios en el tamaño de grano de austenita que predice uno de dichos modelos (Sellars 1980) para un secuencia simplificada (pasadas constantes del

15% y tiempos entre pasadas constante de 10s.) de laminación en caliente para la obtención de plancha de 20mm de espesor partiendo de slabs de 200 mm para un acero C-Mn y un C-Mn-Nb.

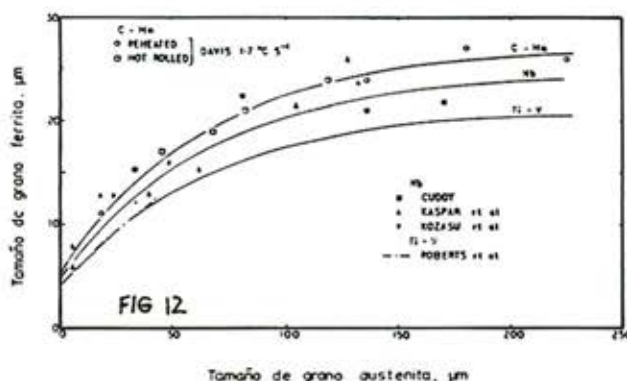
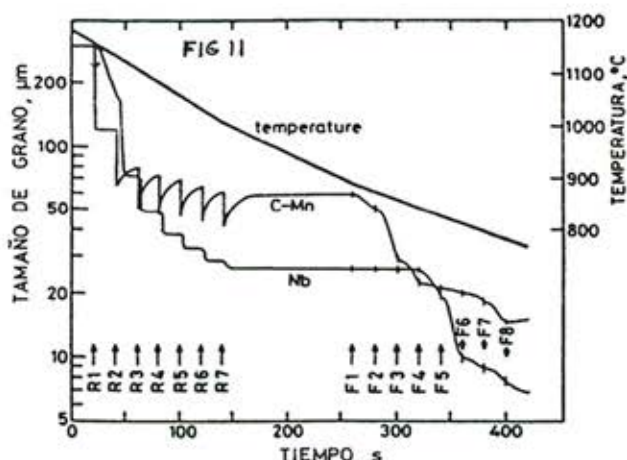
Transformación a ferrita.

Realmente las estructuras presentes a temperaturas ambiente son las importantes y dentro de ellas el tamaño de grano de ferrita juega un papel fundamental. Se han propuesto varias correlaciones entre el tamaño de grano de la ferrita y el de la austenita de partida junto con la velocidad de enfriamiento; pero la más reciente que ajusta mejor un amplio grupo de datos experimentales en aceros C-Mn, Nb y Ti-V (Fig. 12) es la propuesta por Beynon y Sellars 1984:

$$d_f = a + bT^{-0.5} + c(1 - \exp(-1.5 \times 10^{-2} d_y))$$

para los aceros

$$\text{C-Mn } a = 1.4, b = 5, c = 22$$



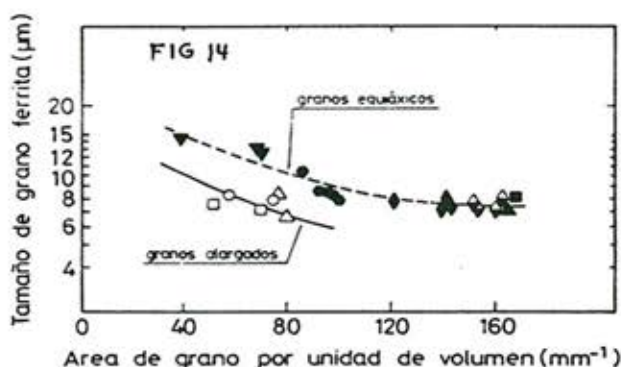
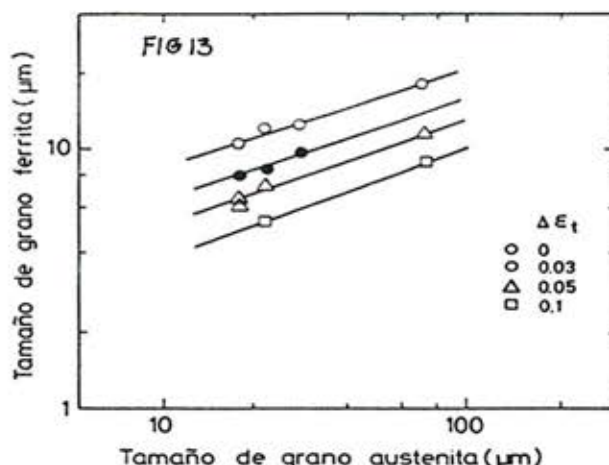
$$\text{Nb } a = 2.5, b = 3, c = 20$$

$$\text{Ti-V } a = 3, b = 14, c = 17$$

En forma adicional la deformación residual de la austenita que no ha sido recrystalizada tiene un importante efecto en el afino del tamaño de grano como se pone de manifiesto en la Fig. 13 (Saito et al 1984). Beynon y Sellars 1984 partiendo de datos como los anteriores determinados por diversos autores han propuesto una ecuación:

$$d = d(1 - 0.45 E^{0.5})$$

El efecto tanto del tamaño de grano de austenita como de la cantidad de deformación en el tamaño de grano de la ferrita está relacionado con la densidad de lugares disponibles para la nucleación de la misma, medida mediante S_v (superficie de juntas de grano por unidad de volumen). En la Fig. 14 se muestra la correlación entre el tamaño de grano de ferrita y S_v , poniéndose también de manifiesto que para austenitas deformadas para el mismo valor de S_v se produce un tamaño de grano de ferrita más fino.



BIBLIOGRAFIA

1. Jonas, J.J., Sellars, C.M. y Tegart, W.J. McG, *Met. Rev.*, 1969, 14, 1
2. Sellars, C.M. y Tegart, W.J. McG, *Int. Met. Rev.*, 1972, 17, 1
3. Sellars, C.M. y Whiteman, J.A. *The Metallurgist*, 1974, 6, 441
4. Sellars, C.M. y Whiteman, J.A., *Met. Sci.*, 1979, 13, 187.
5. Sellars C.M. in "Hot Working and Forming processes", eds. C.M. Sellers and G.M. Davies, *The Metals soc.*, London, 1980, p.3
6. Ruibal, E., Urcola, J.J. y Fuentes, M., *Z. Metallkde*, 1985, 8, 568
7. Rossard, C. y Blain, P., *Rev. Metall.*, 1958, 55, 573
Ruibal, E., Urcola, J.J. y Fuentes, M., *Met. Technol.*, 1984, 9, 323
8. Le Bon, A., et al, *Mem. Sci. Metall.*, 1973, 57, 577
Foster, S.R., Ph. D. Thesis, University of Sheffield, 1982
9. Le Bon, A., et al, *Met. Sci.*, 1975, 9, 36
Nazabal, J.L., Urcola, J.J. y Fuentes, M., *Mat. Sci. and Eng.*, 1987, 86, 93
10. Nazabal, J.L., Urcola, J.J. y Fuentes, M., *Mat. Sci and Eng.*, 1987, 86,93
11. Ruibal, E., Urcola J.J. y Fuentes, M., *Z. Metallkde*, 1985, 8, 568.
12. Berraclough, D.R. y Sellars. C.M.; *Met. Sci* 1979,13,257.
13. Berraclough, D.R., Ph. D, University of Sheffield, 1974.
14. Foster, S.R., Ph. D. Thesis, University of Sheffield, 1982.
15. Beynon, J.H. y Sellars, C.M. "Hogh Strength Low Alloy Steels" (Ed. D.P. Dunne y T. Chandra) *Proc. Int. Conf. Wollongong, Australia*, 1984, p. 142.
16. Saito, Y., Kimura, M., Tanaka, M., Sekine, T., Tsubota, K., Tanaka, T., in *Kawasaki Steel Technical Report*, 1984, 9, March, 12



DRILLCO SA

INVESTIGACION Y DESARROLLO

La alta tecnificación de la Minería Chilena, requiere de Aceros de Perforación de rendimientos cada vez mayores. Ello implica diseños óptimos para cada aplicación y considerando que las variables que intervienen son específicas de cada operación minera.

DRILLCOS.A. es el único fabricante nacional, aplicando Investigación y desarrollo para definir comportamientos de las distintas variables. Así, se definen geometría de la cabeza, disposición de botones, cantidad y ubicación de orificios de barrido, etc. Cada diseño de DRILLCOS.A. es producto de su propia Ingeniería, y el objetivo es minimizar el Costo por Metro Perforado en la faena minera.

**PANAMERICANA NORTE 5001-FONOS
6238571-6238579-6238556-6238387
SANTIAGO-CHILE**



ALEACIONES CON MEMORIA DE FORMA ESTADO DEL ARTE

AUTOR: ALBERTO MONSALVE G.



1. INTRODUCCION.

L efecto de memoria de forma fue observado por primera vez por Greninger y Mooradian en Estados Unidos en 1938. Posteriormente se comprobó que el efecto se presenta con mayor o menor intensidad en aleaciones: Au-Cd, Fe-Pt, Fe-Ni y Ni-Al. El fenómeno adquirió importancia cuando Buehler descubrió (1962) en el US Naval Ordnance Laboratory una aleación de Ni-Ti que presenta el efecto en forma muy marcada, a la que se llamó Nitinol.

La característica importante de estas aleaciones es la capacidad para existir en dos configuraciones distintas sobre y bajo una temperatura crítica de transformación. Bajo la temperatura crítica se forma una estructura martensítica que crece a medida que se reduce la temperatura. Cuando la temperatura sube, la cantidad de martensita disminuye y finalmente desaparece. Este cambio en la estructura metalúrgica está vinculado con un cambio en las dimensiones exhibiendo la aleación un efecto de memoria en la forma de alta y baja temperaturas. Esta transformación martensítica que da origen al efecto de memoria también puede ser inducida por deformación de la fase b sobre enfriada. Otra característica importante en estas aleaciones es la pseudo o superelasticidad, fenómeno a través del cual pueden recuperarse grandes deformaciones totalmente, incluso aquellas obtenidas al aplicar esfuerzos superiores al de cedencia. Ver Figura 1 y 2.

		Temperatura	Estructura
	Resorte comprimido	$T < M_f$	Martensita una variante
	Resorte estirado	$T > A_f$	Cristal de fase original
	Resorte comprimido	$T < M_f$	Martensita una variante

Fig. 1 Cuadro esquemático que muestra el efecto de memoria de forma en un resorte.

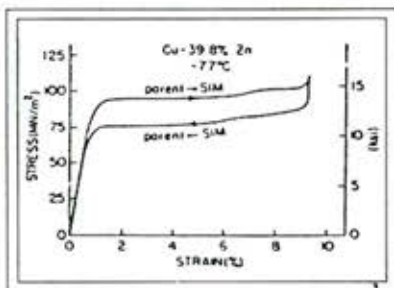


Fig. 2 Curva esfuerzo - deformación para una aleación con memoria de forma Cu-Zn deformada sobre la temperatura M_s . Se muestra el comportamiento superelástico consecuencia de formación y reversión de martensita inducida por esfuerzo. (SIM).

2. ANTECEDENTES BIBLIOGRAFICOS

El efecto fue observado por primera vez en aleaciones Ni-Ti. Las primeras investigaciones se centraron en la búsqueda de causas que expliquen la ocurrencia del fenómeno. (Schroeder y Wayman 1977, Saburi et al 1979). (1).

Dutkiewicz y Morgiel (1986) analizaron el carácter del ordenamiento DO3 resultante de diferentes velocidades de temple y su efecto sobre las temperaturas de las transformaciones martensíticas y el efecto de memoria de forma en aleaciones Cu-Zn-Al. En muestras templadas en agua (1000° C/s) se observó una estabilización significativa de la martensita en la transformación reversa. la recuperación en la forma fue más completa en muestras enfriadas en aire. (2).

Scarsbrook y Stobbs (1987) analizaron datos de análisis térmico para muestras de aleaciones Cu-Zn-Al en función del grado de estabilización de la martensita. Se concluye que dicho proceso de estabilización puede ser asociado, en este tipo de material, a un incremento en el orden de la martensita. (3).

Reyhani y Mc Cormick (1989) encontraron que los productos de transformación en aleaciones

Cu-Zn-Al tienen forma de placas a temperaturas bajo 35°C y forma de barras a altas temperaturas. Se entregan además medidas iniciales de un efecto de memoria de forma reverso asociado con la transformación β' . (4).

Nishi et al (1985) investigaron los efectos de las adiciones de P sobre el efecto de memoria de forma reverso en una aleación Cu-Zn-Al templada. El objetivo de adicionar fósforo es controlar el tamaño de grano de la aleación. Se concluye que adiciones de fósforo disminuyen el área del loop de histéresis del efecto de memoria de forma y probablemente aumentan la estabilidad térmica, siendo el contenido óptimo de P de 0.02% at. (5).

Friend (1986) estudió el efecto de memoria de forma en aleaciones Cu-Zn-Al sometidas a un esfuerzo externo desde el punto de vista de la respuesta macroscópica a la deformación y la microestructura durante el ciclo de transformación. En este trabajo se concluye que la reducción en la deformación reversible cuando un actuador es sujeto a un esfuerzo aplicado opuesto a la deformación de la transformación que produce martensita inducida por esfuerzo a partir de la fase β revertida (6).

Planes, Guénin y Macqueron (1985) presentan el estudio de las primeras etapas de envejecimiento en una muestra Cu-Zn-Al justo después de un tratamiento térmico a una temperatura moderada T_i y un temple a $T_f > M_s$. La medición de la constante elástica C' como función del tiempo de envejecimiento revela dos distintas etapas: un rápido decrecimiento en C' seguida de una etapa de menor decrecimiento. Las dos están separadas por un decrecimiento transiente de C' . Estos resultados han sido interpretados en términos de un reordenamiento de la fase β : la primera etapa influenciada por una disminución en la concentración de vacancias y la segunda etapa correspondiente a un reordenamiento a una concentración constante de vacancias. (7).

Ríos Jara y Guénin (1987) han determinado el vector de Burgers de las dislocaciones formadas durante el tratamiento termomecánico necesario para inducir el efecto de memoria de forma en dos direcciones en la aleación Cu-Zn-Al. Este análisis cuantitativo fue realizado en la fase β (anisotrópica) por simulación computacional del contraste de dislocaciones observadas en un microscopio electrónico de transmisión. (8).

Kwarciak (1985) estudió los efectos de la velocidad de calentamiento sobre las transformaciones en aleaciones Cu-Zn-Al. Utilizando la técnica de análisis térmico diferencial y mediciones de rayos x se estableció la secuencia de transformaciones que tienen lugar en aleaciones templadas $\beta \rightarrow \beta_1 \rightarrow \alpha + \gamma_2 + \beta$. Se observó que las temperaturas de inicio de las transformaciones quedaban virtualmente inalteradas mientras que el rango de temperatura de las transformaciones se desplaza progresivamente hacia arriba a medida que aumenta la velocidad de calentamiento. (9).

Una completa revisión de las transformaciones martensíticas desde el punto de vista cristalográfico y fenomenológico la hace Wayman (1983). Se analiza la relación martensita-fase original y se revisan el ciclo de histéresis, la transformación martensítica reversa, las transformaciones martensíticas termoelásticas y no termoelásticas, el cambio de energía libre de la transformación martensítica y la nucleación de martensita. Se estudian además los efectos mecánicos en las transformaciones no termoelásticas y el esfuerzo crítico para inducir martensita. También se analizan los efectos mecánicos en las transformaciones martensíticas termoelásticas y el efecto de memoria de forma en una y dos direcciones. Se estudian los efectos pseudoelásticos, la superelasticidad y las transformaciones martensita-martensita. (10).

Elt, Van Humbeeck, Meeus

y Delay (1987) estudiaron la influencia de varios elementos formadores de partículas sobre el afinamiento de grano de aleaciones Cu-Zn-Al ó Cu-Al-Ni con memoria de forma durante la solidificación. Fueron distinguidas tres categorías de aleaciones cuaternarias: 1) aquellas que no muestran ningún efecto de afinamiento de grano durante la solidificación (adiciones de Co); 2) Aleaciones cuyo grano es refinado ligeramente, debido a la presencia de partículas formadas durante la solidificación (adiciones de Ti); 3) Aleaciones cuyo grano es marcadamente refinado a través de partículas que nuclean en el baño (adiciones de B). (11).

Perkins y Bobowiec (1986) correlacionan la cinética de transformación martensítica y los efectos microestructurales en un estudio de ciclaje de transformación en una aleación Cu-Zn-Al. Durante los primeros ciclos de transformación martensítica y reversión, se desarrollan ciertas estructuras típicas en la fase original. Durante estos mismos ciclos, el rango de temperatura para la transformación de fase original a martensita se desplaza hacia arriba en varios grados y el rango de temperatura para la transformación reversa martensita fase original se desplaza hacia abajo en cerca de un grado reduciendo la histéresis de transformación. (12).

Delaey (1985) presenta un completo resumen de la metalurgia física de las transformaciones asociadas al efecto de memoria de forma en aleaciones Cu-Zn- y Cu-Al. (13).

Wayman (1983) elaboró una explicación unificada de los procesos de deformación de la martensita y de las ulteriores recuperaciones de forma, aún para martensitas que tienen diferentes estructuras cristalinas (2H, 3R, 9R y 18R). (14).

Dutkiewicz y Morgiel (1984) estudiaron a través de microscopía electrónica de transmisión el efecto de varias velocidades de temple en la recuperación de forma en aleaciones Cu-Zn-Al (15).

Un enfoque general del efecto de memoria de forma y su evolución a escala industrial la presentan Kennon y Dune (1985). (16).

3. USOS.

Actualmente se ha abierto un variado campo de aplicaciones de las aleaciones con memoria de forma. La siguiente es una lista de las principales aplicaciones de estas aleaciones.

1. Ingeniería Civil.

- Fijación de paredes y armazones temporales
- problemas de amortiguación

2. Productores de diapositivas y artículos de promoción.

- modelos de promoción a escala reducida para productos de alta elasticidad.

3. Juguetes.

- juguetes científicos basados en el efecto de memoria.

4. Recipientes de vidrio con tapas autocerrantes.

5. Industria farmacéutica y de alimentos.

- utilización del efecto de memoria como indicador de temperatura.

6. Tarros metálicos.

- apertura o cerrado automático de tarros basado en la temperatura.

7. Seguridad.

- elementos con efecto de memoria de forma como detectores de:
 - fuego
 - fuga de productos criogénicos
 - sobrecalentamiento de frenos, ejes, etc.
- regulador de temperatura libre de chispas en atmósferas peligrosas.

8. Industria automotriz.

- Elementos para reducir vibraciones y/o ruidos.
- regulación térmica de:
 - entrada de aire
 - radiador de agua
 - ventilación
 - aireación
 - aceite lubricante.

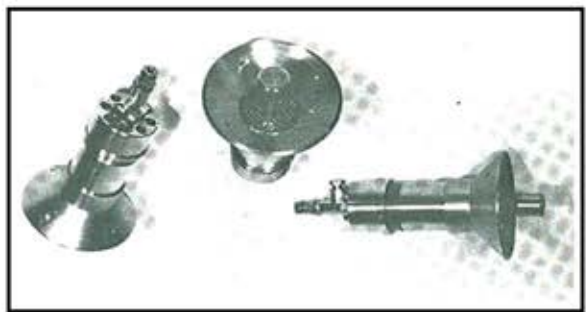


Fig. 3. Detector de fugas. las fugas son el mayor peligro en el transporte de líquidos criogénicos bajo -16°C . el actuador de aleación con memoria en el detector de fugas está calculado para trabajar a -25°C disparando automáticamente sistemas de seguridad que operan en forma neumática. el riesgo de fuego es reducido debido a la ausencia de un sistema eléctrico de poder para la operación de los dispositivos de seguridad.

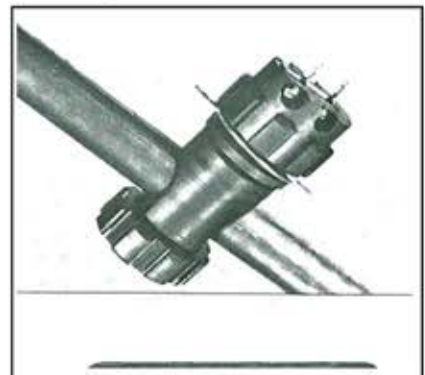


Fig. 4. switch de deshielo. este dispositivo está siendo desarrollado en sistemas de aire acondicionado en automóviles para prevenir el escarchamiento del evaporador. El switch hace un seguimiento de la temperatura del refrigerante que entra en el evaporador y si ésta cae bajo un nivel crítico, el switch activa el compresor interrumpiendo el ciclo de refrigeración. Comparado con el switch convencional, no se necesita perforar la cañería para introducir el sensor y por lo tanto no existe sello que es una fuente potencial de fugas.

9. Regulación mecánica hidráulica y eléctrica.

- Circuitos de frenos y actuadores
- relays
- timers

- válvulas termostáticas
- obturadores automáticos
- reemplazo de bimetálicos (ej. ventilación termoactivada).
- conexiones eléctricas (alto y bajo voltajes)
- ventilación de invernaderos y criaderos industriales de animales.

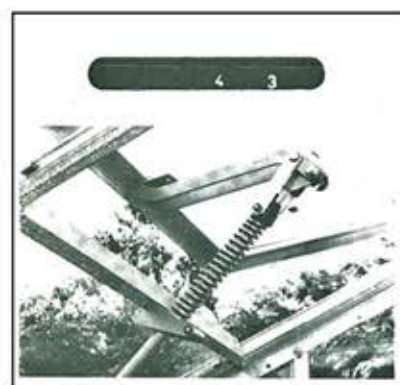


Fig. 5. ventilador de invernadero. En este dispositivo, el actuador de memoria de forma trabaja como sensor térmico y mecanismo actuante a la vez. El tamaño del resorte es diseñado para ser capaz de abrir ventanas de hasta 5 kg de peso.

10. Uniones.

- para murallas temporales
- para tuberías de agua, alambres eléctricos
- elementos con efecto de memoria de forma auto-cerrantes o autoabrientes.

11. coplas.

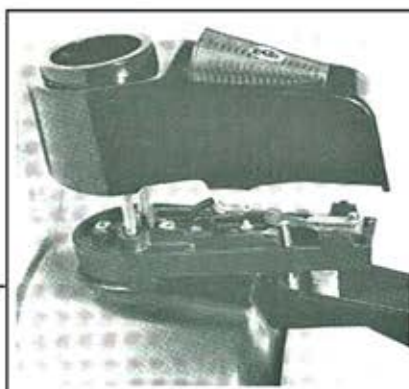
- coplas para tubos
- coplas para alambres eléctricos

12. Gasfitería.

- cañerías de reducción de ruidos, válvulas, etc.
- coplas para tubos que absorben la vibración.

13. Construcción de casa.

- juntas absorbentes de vibración y ruido.
- elementos de amortiguación



para centrales de calefacción.

Fig. 6. Switch para tetera eléctrica. Ha sido desarrollándose para reemplazar el dispositivo bimetalico tradicional. Produce un apagado automático cuando el agua hierve. Se obtiene una gran confiabilidad y exactitud.

14. Industria.

- diferentes materiales amortiguadores de ruido y vibración para uso en construcción de maquinaria tal como: camisas (envolturas), engranajes, portaherramientas.

15. Aire comprimido.

- elementos reductores de ruido y vibración

16. Industria de gases.

- válvula de seguridad para gas doméstico.
- controladores de llenado para gas licuado.
- válvula de seguridad para expansión térmica.

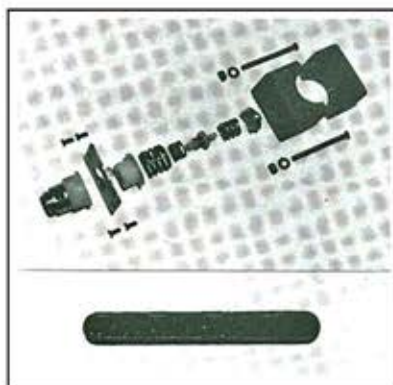


Fig. 7 Switch de seguridad para gas líquido. El dispositivo es sensible a la temperatura del oxígeno y nitrógeno líquidos suministrados a las plantas de procesamiento industrial. la unidad es localizada corriente abajo del

calefactor y si ocurre alguna falla, el dispositivo de seguridad opera una válvula neumática que interrumpe el flujo de gas. es más fácil de instalar que un dispositivo convencional y el rango de funcionamiento puede variar entre -20° a $+10^{\circ}\text{C}$.

- bombas de agua
- buscador / seguidor solar
- moldes de fundición (para fácil desmoldeo).



Fig. 8. Válvula solar. La válvula de compuerta que incorpora un actuador con memoria de forma que controla el flujo de agua caliente en sistemas de calentamiento solar.

17. Maquinaria industrial, Presas Hidráulicas.

- hojas de sierras circulares

18. Aplicaciones caseras.

- engranajes de bajo ruido para molinos de café, máquinas de afeitar eléctricas.
- temporizadores termoregulares para tostadores.
- válvulas de seguridad para ollas a presión.

19. Radio, televisión grabadoras.

- elementos reductores de ruido
- seguridad térmica contra el sobrecalentamiento.

20. Equipamiento de oficinas.

- elementos reductores de ruido para máquinas de escribir e impresoras.

21. Energía nuclear.

- protección contra el sobrecalentamiento de barras y cables.

22. Industria Espacial

- despliegue de antenas regulado por calor
- sensores

- bases para celdas solares sensibles al calor.

23. Equipamiento Naval

24. Equipamiento Médico.

- retenedores de coagulación sanguínea
- conexiones para huesos y fracturas
- ejercitación de miembros
- tensores de huesos

25. Equipamiento espacial.

- máquinas solares



Fig. 9. dispositivo de exceso de combustible líquido. Está conectado directamente a la bomba inyectora y previene el exceso de combustible alimentado al motor en las condiciones de partida en caliente. Esto elimina la emisión de nubes de humo negro lo que es inaceptable cuando los motores deben partir en lugares cerrados.



Fig. 10. Válvula termostática. incorpora un resorte de aleación con memoria de forma en lugar del líquido convencional evitando por lo tanto problemas de filtración y los consiguientes problemas de pérdida de calibración.

REFERENCIAS

1. Jarufe m. J y Leroy R.A. "Fabricación de una aleación Cu-Zn-Al con efecto de memoria" Tesis Ingeniería. Dpto. Metalurgia. USACH 1986.
2. Dutkiewicz J., Morgiel J. The effect of DO3 ordering on the parent martensitic transformation in the Cu-Zn-Al shape-memory alloy.
3. Scarsbrook G., Stobbs W. The martensitic transformation behavior and stabilisation on rapidly quenched Cu-Zn-Al ribbons. *Acta Metallurgica*. Vol. 5 N° 1. Págs. 47-56. 1987.
4. Reyhani M., Mc Comick P. Bainitic reverse shape memory effect in Cu-Zn-Al alloy. *Scripta metallurgica*. Vol. 20 Págs. 571-574. 1986.
5. Nishi et al. Effects of phosphorus addition on reversible shape memory in liquid quenched Cu-30wt%A1 alloys. *Scripta Metallurgica*. Vol 19. 1273-1276. 1985.
6. Friend, C.M. The effect of applied stress on the reversible strain in Cu-Zn-Al shape memory alloys. *Scripta metallurgica*. Vol 20. Págs. 995-1000. 1986.
7. Planes A., Guénin G., Macqueron J.L. Time-dependent elastic constant C' of B Cu-Zn-Al alloy using a reordering process: relation with the martensitic transformation *Journal of Physics Met*. Vol 15. Págs. 1203-1211. 1985.
8. Ríos Jara D., Guénin G. On the characterization and origin the dislocations associated with the two way shape-memory effect in Cu-Zn-Al thermoelastic alloys. I. Quantitative analysis of the dislocations. *Acta Metallurgica*. Vol 35. N° 1. Págs. 109 - 119. 1987.
9. Kwarciak J. Phase transformations in Cu-Zn-Al shape Memory Alloy. *Thermochimica Acta*. Vol 93. Págs. 665-668. 1985.
10. Wayman C.M. Phase transformations nondiffusive. *Physical Metallurgy*. Págs. 1031-1074. 1983. North-Holland Physics Publishing.
11. Elst R., Van. Humbeeck J., Meeus M., Delaey L. Grain refinement during solidification of B-Cu based alloys. *Metallkunde*. Vol. 77 Págs. 421-424. 1987.
12. Perkins J., Bobowiec P. Microstructural effects of martensitic transformation cycling of a Cu-Zn-Al alloy: vestigial structure in the parent phase. *Metallurgical Transactions A*. Vol 17A. Págs. 195-203. 1986.
13. Delaey L. The physical metallurgy of the Cu-Zn and Cu-Al shape memory alloys. *ATB Metallurgie* Vol. 25. N° 2 Págs. 163-169. 1985. Wayman C. Thermoelastic martensitic transformation and the nature of the shape memory affect. *Phase transformations in solids*. Págs. 657-667. 1983.
15. Dutkiewicz J., Morgiel J. TEM study of the effect of various quenching rates on the shape recovery in CuZnAl alloy. *Electrom Microscopy. Proceeding conference*. Vol II. Págs. 869-870. 1984
16. Kennon N.F., Dunne D.P. Shape memory alloys. *Metals, material and manufacturing. Proceeding conference*. Págs. B11-B13. 1985.

EL PROCESO DE MOLDEO AL VACIO FABRICACION DE MOLDES CON ARENA SIN AGLOMERANTE ("VMP"-VACUUM MOULDING PROCESS)

Sr.
Carlos Sermini Rios
Ingeniero Metalúrgico



Introducción

Este novedoso y relativamente nuevo Procedimiento de Moldeo de origen japonés que fuera inventado en 1970 y presentado a los fundidores japoneses en su reunión de la Primavera de 1972 y en diversas comunicaciones publicadas en la revista del gremio "Imono". Es sin lugar a duda una de las invenciones más extraordinarias e importantes de la actual tecnología de la fundición y se introdujo tan rápidamente en las fundiciones japonesas, que ya a mediados de 1973 eran más de treinta los licenciatarios.. Las innumerables ventajas que esta técnica ofrece, le confieren en muchos campos ventajas y superioridad sobre los procedimientos de moldeo hasta ahora conocidos.

Su inocuidad ambiental no será de las últimas razones que faciliten su introducción y difusión en la industria fundidora. El tiempo asombrosamente corto para su puesta a punto, es indicio muy claro del arrojo y laboriosidad de los ingenieros japoneses, tanto como de la potencialidad de este procedimiento.

El proceso del Moldeo al Vacío fue dado a conocer en el mundo occidental, primeramente en la República Federal de Alemania el año 1973, como consecuencia de un artículo publicado en la revista "Giesserei" -órgano oficial de la Asociación de Fundidores Alemanes- y cuyo autor fuera el Prof. Philip Schneider, después de una visita a Japón. Luego de este artículo, al año siguiente, vino la presentación oficial del Proceso "VMP" a todos los fundidores del mundo en la Feria Monográfica Internacional de Fundición "GIFA 74", que se celebra quinquenalmente en la ciudad de Düsseldorf en Alemania Federal.

Rasgos Esenciales del Procedimiento:

Desde el año 1974 a la fecha, el Proceso "VMP" ha sido introducido en muy diversas fundiciones de distintos países del mundo para la producción de un amplio rango de diferentes tipos o familias de piezas fundidas. La Asociación de Fundidores Alemanes - "VDG", en su Hoja de Información Técnica R-203, define el Proceso "VMP" como sigue: El Proceso de Molde al Vacío es un método en el que la arena utilizada es completamente seca y sin aglutinantes de ninguna especie, la cual es compactada a la forma del modelo por medio de la aplicación de vacío y una pequeña y corta vibración previa. El sellado de las cajas o medios moldes (fondo y tapa) con la placa modelo y también externamente en la parte superior, es obtenido por el uso de láminas de un material plástico especial. El vacío aplicado es mantenido durante la solidificación de la pieza hasta una cierta temperatura.

En Alemania se han dado a conocer los fundamentos del procedimiento en dos Patentes publicadas respectivamente, en Enero y Abril de 1973.

La primera de ellas trata de la realización del procedimiento con moldes con separación vertical.

Los elementos principales del procedimiento se desprenden de la patente de la última fecha. En el molde manual, el utillaje consiste en una placa-modelo normal, comunicada por numerosas perforaciones o taladros de pequeño diámetro con una caja subyacente, la cual va conectada con un conducto de vacío. Con la misma fuente de vacío se comunica también la caja de moldeo, provista de tubos agujereados de aspiración que llevan una envoltura filtrante, o bien, están dotados de mangueras de aspiración. La diferencia esencial con los procedimientos conocidos reside en la hoja o film de plástico utilizado para reproducir el contorno del modelo y estanqueizar los semimoldes; así como el uso de una arena totalmente seca, sin aglomerante alguno, y por lo tanto, muy fluida y que como material de moldeo es suficientemente compactado mediante el empleo de una corta y ligera vibración previa. La compactación de la arena así obtenida se mantiene por la aplicación de vacío.

Práctica del Proceso "VMP":

Si se dispone de una instalación de vacío y un calefactor de hojas o film de plástico, se podrá emplear el nuevo procedimiento con medios relativamente simples para fabricación de series cortas de piezas. Como se muestra en la Figura 1 y 2.

La fabrica japonesa de maquinaria de fundición "Sintokogio" ha obtenido enorme prestigio y grandes méritos en el desarrollo de la tecnología del Procedimiento de Moldeo al Vacío "VMP". En estrecha colaboración con los titulares de las Patentes, se

inicio en 1971 la construcción de instalaciones de Moldeo mecanizadas y automatizadas. En los trabajos dirigidos por el Dr. Ing. R. Kono, ha participado una nutrida nómina de colaboradores. Ello explica los progresos desusadamente rápidos, tanto en la construcción de las máquinas como en los estudios fundamentales sobre el comportamiento de las hojas de plástico, la adecuada elección de la granulometría de la arena y el perfeccionamiento de la instalación de vacío. La firma Sintokogio ha podido obtener, mediante importantes inversiones, meritorios éxitos. Se desarrollaron y construyeron varios tipos de instalaciones de moldeo, iniciándose su experimentación en la práctica ya a mediados de 1972. Aunque el desarrollo ha continuado perfeccionando el procedimiento, ellos suministran desde hace algunos años instalaciones eficientes con cajas de moldeo de junta vertical y horizontal.

Propiedades y comportamientos de las Hojas de Plástico:

En el Procedimiento "VMP" el molde de arena seca y sin aglutinantes queda sellado por una delgada hoja de plástico y se compacta aplicando vacío. El conformado con vacío de materiales termoplásticos está muy difundido en otras ramas de la industria, donde se tienen sobre el mismo conocimientos suficientes, pero de escasa utilidad para su aplicación al Procedimiento "VMP", por lo que hubieron de hacerse primeramente investigaciones fundamentales sobre el material en hoja o film más eficaz. La película de termoplástico debía poseer las siguientes características:

- Bajo precio
- Excelente conformabilidad
- Escasa liberación de gases y que ninguno sea tóxico.

De todos estos requisitos, el de la conformabilidad es el más importante. En Sintokogio se investigaron diferentes materiales del tipo de película en un dispositivo especial, determinándose el alargamiento de las hojas en el sentido longitudinal y transversal a temperaturas de 95°, 115° y 130°C. Los mejores resultados del ensayo de copolimerizados fueron obtenidos con el termoplástico de Vinil-Acetato de Etileno (abreviadamente conocido por EVA). Se producen parcialmente diferencias importante en el alargamiento longitudinal y transversal que, tratándose de complicados contornos de modelo, podrían dar lugar a la formación de pliegues. Los copolimerizados con un contenido de Vinil-Acetato perfectamente definido (16 a 18%) son los que mejor resultado han dado en la práctica y no impurifican el ambiente porque no desprenden gases tóxicos.

El hecho de que al colar metal líquido se forma una costra compacta y resistente es uno de los fundamentos esenciales del Procedimiento "VMP". La calidad uniforme de las hojas de plástico es poco

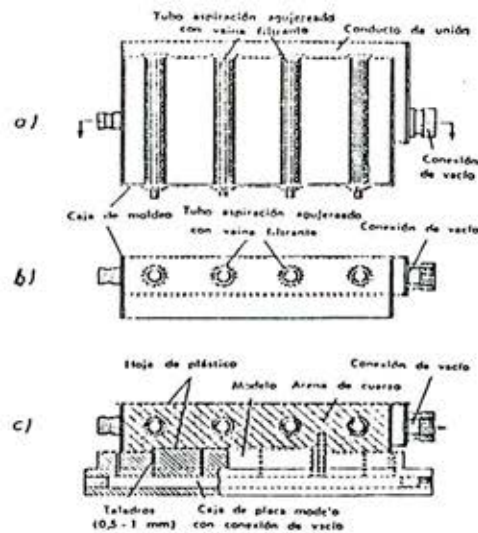


Fig. 1. Esquema del montaje para el procedimiento de moldeo con vacío, según las patentes.

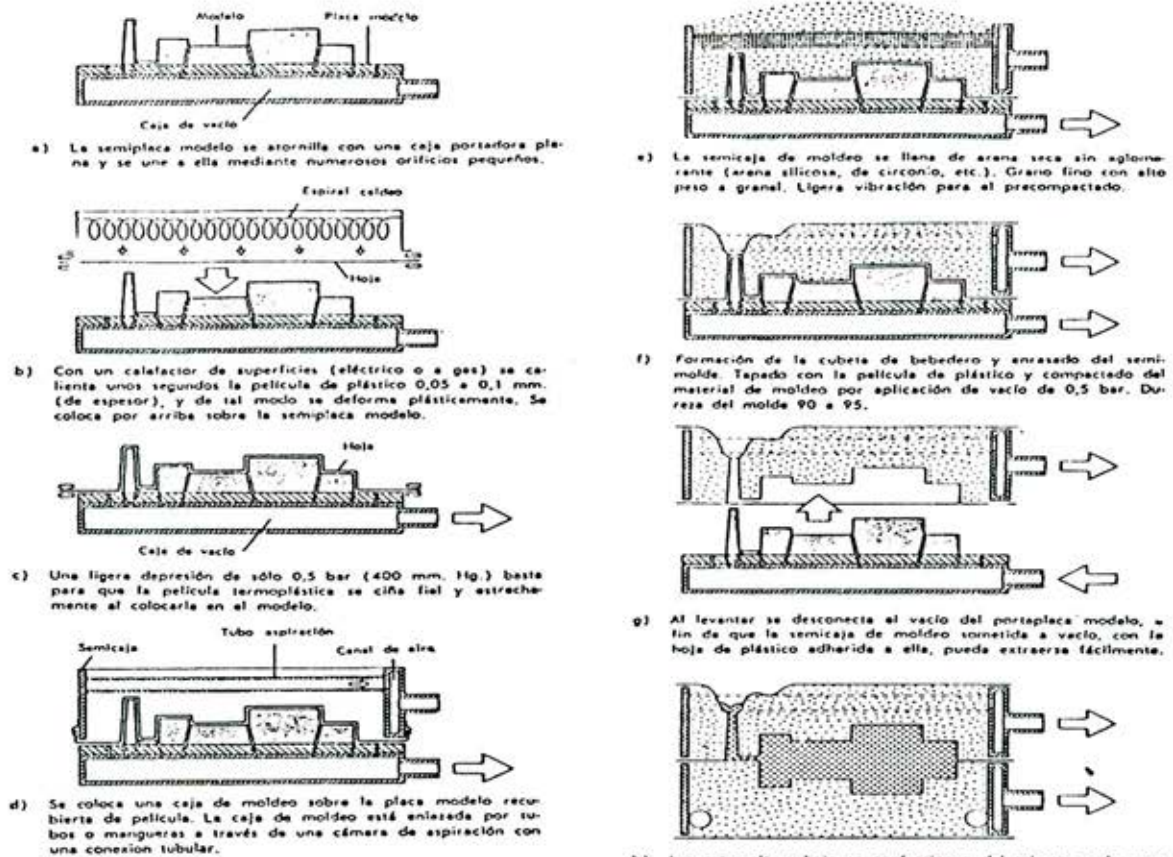
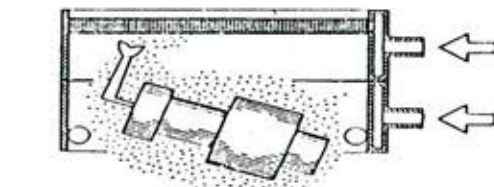


Fig. 2. Secuencia de trabajo del procedimiento V con partición de molde horizontal.



i) Una vez la pieza suficientemente enriada, se desconecta el vacío. La arena que fluye libremente se dirige a través de una instalación de enfriamiento y despolvado a la tolva. Resultado: una pieza fundida limpia, dimensionalmente precisa que no requiere apenas limpieza.

importante cuando se trata de producir piezas sueltas, pero es condición indispensable para la fabricación en serie.

Naturalmente, en la técnica del moldeo al vacío se admite el pintado o recubrimiento total o parcial, por proyección de un revestimiento apropiado, sobre la superficie de la hoja de plástico. Además de pinturas al agua o alcohol en base a Silicato de Zirconio, también, se usa una que emplea como vehículo o fluido de suspensión fluorohidrocarburos y la misma base anterior, denominada comercialmente Freon 12 - Zircon Coatings. Como una regla general, el pintado o recubrimiento se hace por pulverización con aire comprimido, de manera que la capa de pintura o recubrimiento seca muy rápidamente sobre el film de plástico. Sin embargo, en casos excepcionales también puede emplearse el secado con aire caliente.

La Elección de la Granulometría de la Arena

Los criterios para seleccionar el tamaño de grano de la arena más apropiado para el Moldeo al Vacío difieren de los usuales en el moldeo en verde, puesto que en la operación de colada se forma relativamente poco gas debido a que la hoja de plástico vaporizada con formación de costras se deposita en la superficie del molde. Todo el volumen de la caja de moldeo está sometida a constante aspiración por efecto del vacío aplicado, por lo que para obtener una buena superficie de pieza podrán elegirse mezclas de arena de grano relativamente fino, aunque su permeabilidad sea escasa.

Es importante tener presente que intensificando el vacío crece la resistencia a la compresión y empeora la superficie de la pieza fundida. Las películas de plástico más gruesas aumentan la resistencia a la compresión sin influir perceptiblemente sobre dicha superficie. Cabe afirmar que el resultado más importante es que puedan emplearse arenas más finas de lo que es corriente en los procedimientos de moldeo en verde actuales, lográndose así mejorar superficies en la pieza fundida.

Como en el circuito de la arena se registran pérdidas muy bajas del orden sólo de 1 a 2%, es factible el uso de arenas más caras como las de Zirconio, Cromita u Olivina, que en algunos casos resultan rentables.

En relación a las arenas de Sílice, se puede decir que cualquier arena con un contenido sobre 90% de SiO₂ es aceptable y con referencia a la forma de los granos la subangular es la preferida con cualquier tipo de arena.

La Fineza AFS de las arenas utilizadas en el Moldeo al Vacío "VMP" puede variar entre 100 y 170. Sin embargo, de acuerdo con las aleaciones por vaciar, las Finezas más comúnmente empleadas son:

MATERIAL	TIPO DE ARENA:
	(Fineza)
- Para Aluminio :	140 AFS, sin pintura o recubrimiento
- Para Fierro Fundido, incluyendo Fundición Nodular y también Maleable	: 100 a 120 AFS, con pintura o recubrimiento
- Para Acero Fundido:	80 AFS, con pintura o recubrimiento.

Propiedades Térmicas del Molde:

Investigaciones comparativas revelaron, como era de esperar, que la velocidad de enfriamiento de las piezas es menor en los moldes al vacío que en los moldes en verde.

Mediante el control de la temperatura en la piel de la pieza fundida se comprobó que la velocidad de enfriamiento después de la colada es, de inmediato, relativamente elevada, ya que por influencia del vacío el metal se ciñe apretadamente a la pared del molde y porque tampoco falta la fuerte película de gas usual en el moldeo en verde. Pero tan pronto se ha calentado la pared del molde, el enfriamiento transcurre con mayor lentitud, ya que en los moldes al vacío no hay presente humedad alguna.

La menor velocidad de enfriamiento se traduce, naturalmente, en el Procedimiento al Vacío por una limitación del número de células eutécticas en la fundición.

La espiral de colabilidad hecha con fundición de diversos grados de saturación o Carbono equivalente, era un 20% mayor en molde al vacío que en molde en verde, lo que evidentemente es atribuible a la película de plástico, que reduce la resistencia a la fricción. Por otra parte, en el procedimiento al vacío no existe la fuerte presión de gas de los procedimientos convencionales, debido a los aditivos aglomerantes.

Estabilidad Dimensional de las Piezas Fundidas.

Para juzgar un nuevo sistema de moldeo es de la mayor importancia la exactitud dimensional conseguible. Ensayos comparativos efectuados en este sentido en Sintokogio han revelado una notoria superioridad del Procedimiento "VMP" frente a los de arena en verde y de endurecimiento con CO₂. Primeramente, en ensayos precisos se comprobó que la extracción de modelos sin conicidad desde el molde, en el Procedimiento "VMP", requería menores esfuerzos, que son diez veces mayores en el procedimiento de arena en verde. El procedimiento CO₂, exige fuerzas de desmoldeo veinte veces mayores en modelos con conicidad que el procedi-

miento en verde. En el Procedimiento "VMP" pueden desmoldearse hasta modelos con conicidad negativa (contra-salida) sin detrimento del molde. Con un vacío mas intenso y, por lo tanto, mayor endurecimiento del molde, las fuerzas de desmoldeo son superiores. En estos ensayos se trabajó naturalmente sin vibración, lo que es también el caso en la práctica del procedimiento "VMP", con lo que se evita el ensanchamiento del molde, lo que es posible en otros procedimientos. Junto con la elevada cohesión del molde, en Procedimiento "VMP" se dan todas las premisas para la obtención de piezas de dimensiones exactas. De acuerdo con ensayos efectuados ha resultado evidente, sin embargo, que el menor movimiento de la pared del molde al vacío conduce a una exactitud dimensional superior.

Las ventajas y desventajas que se mencionan para este Proceso son las siguientes:

Ventajas:

- Es aplicable a todos los metales y aleaciones, comercialmente importantes, destinadas a la Fundición tales como: aluminio, cobre, hierro, acero y aleaciones especiales.
- Elimina la necesidad de emplear aglutinantes y aditivos como el agua en la preparación de la arena de moldeo y por ello, desaparecen los peligros de combustión y toxicidad consecuentes. Se evitan los costos de almacenaje e inventario.
- Desde el punto de vista ambiental el proceso es muy bueno para la Fundición ya que se eluden muchos olores desagradables y a veces hasta tóxicos, que desprenden los materiales aglutinantes de la arena de moldeo. El lugar de trabajo resulta por lo tanto, más limpio y menos contaminado por: humos, vapores, gases, ruidos, depósitos de polvo de carbón y otros productos pulverizados, etc.
- Prácticamente toda la arena es reciclada y puede reusarse hasta un 98% de ella, por esta razón los problemas de disposición a botaderos es mínima y el recurso mismo es conservado en un altísimo porcentaje, significando esto una importante economía.
- El control de la arena de moldeo resulta bastante simplificado.
- La ausencia de maquinaria pesada de alto consumo de energía, tales como: Mezcladoras de Arena (Mixer) y Máquinas Demoldeadoras (Shake-Out), reduce en forma notoria el monto de las inversiones, los gastos de mantenimiento y las necesidades de espacio indispensable.
- Elimina la necesidad de instalar una Planta de Recuperación de Arena.
- Economía de costos en la fabricación de los modelos y mayor duración de los modelos y cajas de moldeo. Como la arena seca de moldeo en este sistema no está nunca en contacto directo con los modelos, ello aumenta notablemente la vida útil de las placas-modelos y hace disminuir notoriamente los problemas de

mantención. Además, como en este nuevo proceso no se emplean altas presiones para el prensado de los moldes, ni vibraciones o sacudidas por percusión (jolting) en máquinas moldeadoras y el empleo de calor es innecesario, todo esto permite el empleo de materiales de menor valor en fabricación de los modelos.

- La fuerza necesaria, para extraer o separar el molde de la placa-modelo alcanza sólo a un 10% de la empleada con el mismo objetivo en un molde en verde.

La fácil separación del molde de la placa-modelo elimina la necesidad de dispositivos o herramientas especiales, tales como: vibradores u otros equipos de alto costo. Del mismo modo, se puede eliminar la conicidad de salidas generosas o pronunciadas en los modelos e incluso si fuera necesario, los modelos pueden ser confeccionados sin conicidad o salida.

- Hay una menor cantidad de rechazos en este proceso, en especial porque los defectos de las piezas fundidas imputables a la humedad de la arena de moldeo están totalmente ausentes en este sistema de moldeo.
- Existe alrededor de un 20% de mayor facilidad en el flujo o escurrimiento del metal líquido en el molde, como consecuencia de la lámina de plástico utilizada como recubrimiento, lo cual hace más favorable el comportamiento del molde durante su alimentación con metal líquido siendo posible fundir piezas de paredes más delgadas.
- Se obtiene una muy buena terminación o calidad de piel de las piezas fundidas, no habiendo casi defectos en ellas motivados por la arena, lo que hace al proceso comparable con el Moldeo en Cáscara (Shell Moulding), ya que a lo anterior se suma una gran precisión dimensional.
- Existe un notorio menor trabajo en la limpieza y terminación de las fundidas por este proceso, lo que significa menores costos por estos conceptos.
- En resumen se puede decir que hay una reducción en los costos de operación de la Fundición; sin embargo, se hace necesario verificar detalladamente esta situación pues hay variaciones sensibles de tipo geográfico.
- Se obtiene un mejor rendimiento entre el peso de las piezas fundidas y el peso del metal vaciado correspondiente, como consecuencia de un sistema de alimentación de la pieza mucho más sencillo y liviano.
- Se consigue una estructura metalúrgica modificada como consecuencia de un enfriamiento más suave o lento.

Además, las piezas fundidas por este método presentan una maquinabilidad muy mejorada.

Desventajas:

- No tiene la capacidad de competir con las metas de producción normalmente alcanzadas por otros sistemas modernos de moldeo en verde. Sin embargo, desde un punto de vista empírico y confiable, se puede decir que el Proceso de Moldeo al Vacío "VMP" puede reemplazar muy favorablemente al Proceso de Autofraguantes (Cold Resin or No-Bake Process) y a las Plantas de Moldeo en Verde menos eficientes.
- Altos derechos a pagar por los Licenciarios.
- Alto consumo de energía para la producción del vacío, que debe permanecer aplicado durante el moldeo, armado del molde, vaciado del metal líquido y solidificación, e incluso durante parte de la etapa de enfriamiento de la pieza.
- Problemas de generación de polvo durante el desmoldeo.
- Descarburación de la piel de la pieza y ablandamiento superficial por la presencia de grafito superficial.
- Los tiempos de enfriamiento de las piezas fundidas en el V.M.P. son significativamente más largos, del orden de 50% más, que en los moldes en verde o que los del sistema de autograguantes. Por esta razón, se precisa una mayor dotación de cajas de moldeo en el Proceso de Moldeo al Vacío "V.M.P.", que en los otros sistemas; las cuales por su diseño son más caras- ya que deben tener doble pared para conformar una cámara para aplicación del vacío- y poseer además una gran precisión dimensional.
- El pintado o recubrimiento de cada molde es indispensable para prácticamente todas las aleaciones, con la sola excepción de las de aluminio.

Modelos y Cajas de Moldeo:

La duración de los modelos y cajas de moldeo es sensiblemente mayor que hasta ahora, pues cabe contar con menor desgaste de los utilajes de modelo porque éste no se pone ya en contacto con la arena del molde. Las sacudidas y prensado desaparecen y el desmoldeado se efectúa sin vibrador y con escaso esfuerzo. Se pueden emplear materiales más baratos en la construcción de los modelos, como maderas o plásticos, con el consiguiente ahorro de costos. Es factible la utilización de los modelos disponibles, reutilizándolos.

El mantenimiento de una conicidad determinada es en este caso indiferente, y en casos especiales (fundición artística) son también desmoldeables las contrasalidas ligeras. Sólo en la fabricación en serie es más complicada que hasta ahora, la configuración de las cajas de moldeo. El desgaste de la caja es sustancialmente menor, porque no hay ninguna aplicación de presión en el moldeo y desmoldeo.

Simplificación del Moldeo y el Desmoldeo:

Las cajas de moldeo se llenan sólo por gravedad y se aplica sólo un ligero y corto vibrado a la placa modelo. Se simplifica enormemente la preparación de la arena, limitada al tamizado, enfriamiento y despolvo de la arena del circuito. Esto supone una importante reducción de los costos de inversión, operación y mantenimiento. El esfuerzo para deshacer los moldes es menor que hasta ahora. La remoción de las almas y la recuperación de la arena respectiva se realiza por los procedimientos usuales. La arena de moldeo se halla en constante circuito, reponiéndose sólo las pérdidas en polvo. Para la circulación de la arena se emplean canales vibrantes, sinfines y equipos neumáticos. No es ya de temer el atascamiento de las tolvas. La arena se enfría sencillamente por aire o indirectamente con agua en torres aspersoras. La ausencia de aglomerantes y aditivos contribuye a ahorrar costos.

Mejores Lugares de Trabajo:

Como hay una constante aspiración del molde el ambiente no se carga de vapores o gases procedentes del material de moldeo o de la hoja de plástico. Desaparecen los vapores que, por ejemplo, provoca el polvo de carbón u otros aditivos. Es, por lo tanto, menor el gasto para ventilar y calentar las naves y las molestias que ocasionan los ruidos de las máquinas moldeadoras de sacudidas, las parrillas de las máquinas desmoldeadoras o los vibradores de las tolvas, que no existen en este caso. Son bajos los consumos de aire comprimido y energía.

Propiedades de las Piezas Fundidas:

El procedimiento "VMP" tiene un amplio alcance. Se puede emplear con todas las aleaciones comerciales para colada conocidas, desde el aluminio hasta los aceros especiales, y tanto en la fundición sobre modelo para la fabricación de piezas sueltas como en la producción en grandes series, altamente mecanizada o automatizada. No hay limitación alguna de espesores de pared, ya que pueden moldearse y colarse tanto secciones delgadas como muy gruesas. El empleo de la película de plástico permite la reproducción fiel de los contornos y también de las más finas superficies. En este procedimiento es sustancialmente menor el rechazo de piezas fundidas por defectos imputables a la arena y aparentemente, el movimiento de la pared del molde es menor que en los otros procedimientos actuales, pues ha podido comprobarse la buena exactitud dimensional mediante muchas medicio-

nes. Es evitable la rebaba del molde y, por consiguiente, se reduce el trabajo de esmerilado o amolado. Las piezas fundidas presentan una buena superficie y precisan menos trabajo de limpieza y terminación.

Campos de Aplicación del Proceso "VMP":

Es perfectamente comprensible que en los comienzos de la aplicación de este procedimiento se hayan moldeado simples piezas planas y con pocas almas. El titular de la patente Yoshimaya Kubo ha fabricado en su fundición artística de Nagano, Japón central; por el Proceso "VMP", primeramente piezas artísticas variadas y, sobre todo, también entramados de revestimiento para arquitectura de interiores y exteriores en aleaciones de aluminio y de cobre, así como acero inoxidable. Su fundición, así como algunas otras empresas, fabrican desde 1972 placas de fachada de cuatro metros de longitud en aleaciones de aluminio con y sin vanos.

Los motivos de la adopción del Proceso "VMP" fueron en este caso la extraordinaria buena calidad de la superficie fundida, el mejor llenado de molde y la sustancialmente mayor productividad.

Elementos de caldera en fundición fabricó ya en 1972 la empresa Maeda, de Nagano, y desde mediados de 1973 produce en una nueva instalación de moldeo elementos de caldera de diversos tamaños, con un peso de hasta 350 Kgs., empleando almas de resina furánica. Otros Licenciarios fabrican bastidores de piano e innumerables piezas para maquinaria textil, así como pequeñas bañeras.

La fábrica de maquinaria para fundición Sintokogio, que es, la que dispone de mayor "Know-How", tiene una fundición propia y fabrica en ella desde 1971 piezas fundidas para su propio consumo, de hasta 100 Kgs. En Junio de 1973 la firma Hitachi montó la primera instalación totalmente automática Sintokogio, consistente en un carrusel, y produce con ella pequeñas piezas para instalaciones climatizadoras de hasta 5 Kgs. de peso. La nueva fundición de acero de la Tokyo Chain & Anchor Co. Ltd., Midorigahama Tahara Machi, que empezó a funcionar a fines de 1973, se basa exclusivamente en el Proceso "VMP" y moldean anclas de todos los tamaños con la mejor superficie y escaso trabajo de limpieza, con pesos por pieza de hasta 12 toneladas, en cajas de ocho metros de longitud. En esta aplicación el Proceso "VMP" supera largamente a los restantes procedimientos de moldeo.

DISMINUCION DEL CONSUMO DE MEDIOS DE MOLIENDA USANDO INHIBIDORES QUIMICOS DE LA CORROSION

Patricio Navarro D.*

José Ormeño R.*

Jorge Barría C.**

Luis Magne O.*

Jorge Menacho Ll.**

* Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad de Santiago de Chile. Casilla 10233, Santiago, Chile.

** Centro de Investigación Minera y Metalúrgica. Casilla 170 - Correo 10, Santiago, Chile

Proyecto PNUD CHI/88/011 "Desarrollo Tecnológico de la Conminución en la Industria Nacional"

Artículo presentado en 42ª Convención del Instituto de Ingenieros de Minas, Octubre de 1991.



INTRODUCCION

El consumo de medios de molienda representa una parte importante en los costos de operación de una planta de procesamiento de minerales. A nivel nacional, considerando la gran y mediana minería, el consumo de acero como medios de molienda es del orden de 73000 toneladas y representan un costo aproximado de 40 millones de dólares (1).

Existe una discusión permanente sobre qué mecanismos rigen el desgaste de los medios molidores en la molienda húmeda de minerales. Muchos investigadores coinciden en que el desgaste total es ocasionado por un efecto sinérgico de corrosión y sollicitaciones mecánicas (Corrosión-Impacto-Abrasión) (2), (3), (4), (5). Sin embargo, es difícil separar la contribución relativa de cada mecanismo en el consumo global. Las variables más importantes que controlan el desgaste de los medios de molienda, son las siguientes:

- Nivel de dureza y microestructura de la bola
- Carácter corrosivo y abrasivo de la pulpa
- Extensión y distribución de partículas segundas fases y áreas segregadas.

Desde el punto de vista electroquímico, existen en las pulpas de molienda una serie de minerales electroactivos que poseen un potencial de reposo más noble que el de los aceros de los medios de molienda. Esto puede dar origen a un ataque de tipo electroquímico al establecerse pilas galvánicas, especialmente en presencia de oxígeno. Hay autores que atribuyen al desgaste por corrosión entre el 50 y 80% del consumo total, habiendo otros que afirman que es menor. Investigadores que se han destacado por el estudio del desgaste desde el punto de vista electroquímico son Natarajan e Iwasaki (6), (7). Su trabajo ha consistido principalmente en hacer mediciones de potenciales puros y electrodos de aceros de diversos tipos. Además de los resultados así obtenidos, evaluaron el desgaste a nivel de laboratorio en molinos de porcelana. Isaacson (8) estudió el efecto de la presencia de minerales sulfurados en la velocidad de corrosión de varios tipos de aleaciones ferrosas usados como medios de molienda. El equipo utilizado fue una celda tipo

rueda de goma, que permitía simular las condiciones químicas y mecánicas de un molino, agregando polvos de alumina para aumentar la condición abrasiva.

Las alternativas de protección contra la corrosión de los medios molidores en molienda húmeda, son:

- Modificación de la composición metálica de los medios de molienda

- Protección catódica del sistema de molienda

- Modificación de las características del medio a través del uso de reactivos inhibidores de corrosión.

La primera, es una alternativa de alto costo y difícil de controlar. La protección catódica del lecho de bolas de un molino a través de la aplicación de corriente impuesta ha sido estudiado últimamente (9), (10), (11), pero no se ha evaluado su implementación industrial. A nivel industrial, es posible encontrar la utilización de ánodos de sacrificio (bolas de acero de bajo cromo) para proteger del desgaste a medios de molienda de alto cromo (12).

El uso de inhibidores de corrosión han sido estudiados a nivel de celdas electroquímicas y en molinos de laboratorio de porcelana, presentándose como una alternativa que podría resultar de fácil

implementación industrial y no provoca cambios en el diseño de equipos. Estos reactivos pueden ser clasificados en cuatro grupos:

- Pasivantes (cromatos, nitritos, fosfatos, molibdatos)

- Catódicos (carbonatos, sulfitos)

- Orgánicos (aminas, tiourea)

- Formadores de precipitados (silicatos, fosfatos)

Existen algunos trabajos informados en la literatura, sobre el uso de inhibidores de corrosión en molienda húmeda de minerales. Hoey (13) (14) trabajó con pulpas de minerales sulfurados de cobre y níquel, usando cromato de sodio y nitrito de sodio, en un molino de laboratorio de porcelana de 5 lts. de capacidad, concluyendo que los inhibidores prevenían la corrosión en un 46 y 49% respectivamente. Benzoato de sodio y bórax no le reportaron resultados positivos.

El objetivo del presente trabajo es, evaluar el efecto de la utilización de Tiourea y Nitrito de Sodio (NaNO_2) como reactivos inhibidores de corrosión sobre el desgaste de medios de molienda, en ensayos continuos a escala piloto.

INGRE Ingenieros, Ltda.

Desde 1957 al Servicio de las Fundiciones

Ajax Magnethermic
CORPORATION



Heraeus
Electro-Nite

Representantes Exclusivos para Chile de:

Hornos de Inducción
Medidores de Temperatura y
Contenido de Carbono
Refractarios para Hornos de Inducción

Tel. 777 3601 - 737 0176 - Fax: 777 0689 - Casilla 14228 Los Piñones 018
Providencia - Santiago

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Los ensayos se realizaron en un molino piloto Hardinge cónico de 0.6 m de diámetro por 0.3 m de largo, operando en circuito abierto, que es alimentado desde una tolva de 400 kg de capacidad aproximadamente. El molino se encuentra equipado con un medidor de potencia Hioky, el cual entrega potencia consumida instantánea e integrada. El acondicionamiento de la pulpa para los ensayos a pH ácido se hizo con ácido sulfúrico, y se utilizó cal para acondicionar pHs básicos. Ambos se adicionaban al flujo de alimentación y el control se realizó en la descarga. Los reactivos inhibidores a evaluar se adicionan diluidos al cajón de alimentación. El material utilizado fue mineral de cobre sulfurado, con presencia predominante de calcopirita, calcosina y pirita, proporcionado por la División El Teniente de CODELCO-Chile.

Las condiciones de operación metalúrgica utilizadas son las siguientes:

-Fracción de Velocidad Crítica del Molino	: 77%
-Fracción Volumétrica de Llenado de Bolas	: 35% (203.5 kg)
-Flujo de Mineral de Alimentación	: 2 k/min
-Porcentaje de Sólidos en la Descarga	: 60%
-Distribución de Carga de Bolas	: 57.5% Bolas de 2.5" 28.4% Bolas de 2.0" 11.0% Bolas de 1.5" 3.1% Bolas de 1.0"
-pH de Pulpa y Flujo de Inhibidor	: Según el ensayo correspondiente

El desarrollo experimental implementado para la realización de los ensayos de molienda continua a nivel piloto es el siguiente:

Caracterización del mineral:

La caracterización del mineral consiste en determinar granulometría e Índice de Bond del mineral a procesar. Para ello se obtienen muestras representativas desde 550 kg de mineral, aproximadamente, que se utilizan en cada ensayo.

Preparación de la tolva de alimentación:

Una vez realizada la etapa de muestreo, y aprovechando la homogenización del material, se procede a cargar la tolva de alimentación hasta un nivel intermedio, el que se va recuperando cada cierto tiempo para evitar posibles segregaciones del mineral.

Preparación de la carga de medios de molienda.

La carga de bolas necesarias para alcanzar un nivel de llenado del molino de 35% es de 203.455 kg los cuales se distribuyen según la ecuación de Bond en las fracciones entregadas anteriormente. Cada fracción de bolas se prepara en forma previa a la realización de los ensayos. El número y peso inicial

de bolas en cada tamaño, para uno de los ensayos realizados, se entrega en la tabla 1.

Tabla 1: Distribución en número y en peso de los medios de molienda utilizados en ensayos pilotos continuos.

Tamaño, [plg]	Nº de bolas	Peso, [g]
2.5	106	117040.90
2.0	99	57684.40
1.5	89	22475.86
1.0	84	6259.50
Total	378	203460.66

Las bolas se lavan en el molino durante 5 minutos, se secan y pesan una a una, para obtener el peso inicial.

Preparación de reactivos:

Los reactivos a utilizar en cada ensayo son los modificadores del pH de pulpa (ácido o cal) y/o los reactivos inhibidores de corrosión (Tiourea o Nitrito de Sodio). El Ácido Sulfúrico, la Tiourea y el Nitrito de Sodio se preparan diluyéndolos en agua a concentraciones

deseadas. Para lograr pHs básicos se prepara una lechada de cal. Cada una de las soluciones se adicionan como flujos regulados en la alimentación del molino.

Determinación del desgaste de los medios de molienda:

Una vez finalizado cada ensayo, el molino es descargado, separando la carga interna de las bolas. Una vez lavadas y secadas las bolas son pesadas una a una.

Control de la operación:

El control de la operación se realiza cada diez minutos a través de las siguientes variables: consumo de potencia del molino, porcentaje de sólidos en la descarga y pH de la pulpa en la descarga. Además, en estos intervalos de tiempo, se determina el potencial y la temperatura de la pulpa en la descarga y el flujo de mineral de alimentación. Por otro lado, cada 20 minutos se toma una muestra de descarga para determinación de granulometría de producto. Normalmente, cada ensayo se dejó operar durante dos horas en condición estacionaria. El período de estabilización de la operación fluctúa entre 1:15 horas hasta 1:45 horas.

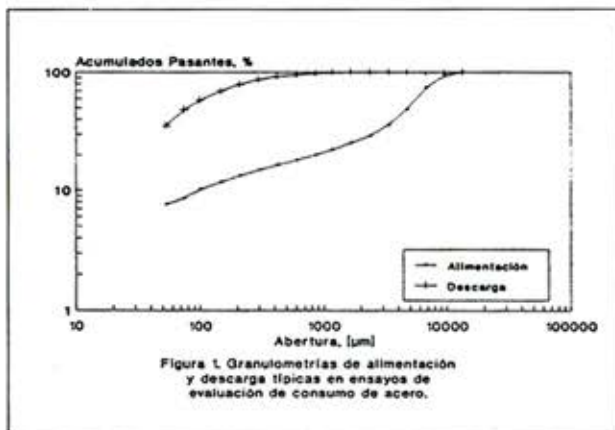
RESULTADOS EXPERIMENTALES

Los ensayos realizados y que se informan en este artículo, corresponden a la evaluación de Tiourea, en pH ácido, y Nitrito de Sodio, a pH básico, como reactivos inhibidores de corrosión de medios de molienda, en ensayos continuos. Además se evaluó, como marco de referencia el consumo de aceros sin uso de reactivos a diferentes pH de pulpa. Los ensayos se identifican por el tipo y cantidad de reactivo que se utiliza y en el pH de la pulpa, según se resume en la Tabla 2.

Tabla 2: Ensayos de molienda continua a escala piloto realizados para evaluar el efecto de Tiourea y Nitrito de Sodio como reactivos inhibidores de corrosión de medios de molienda.

Ensayo	Inhibidor	Concentración	pH
1	Sin	---	3.5
2	Tiourea	200 ppm	3.8
3	Tiourea	400 ppm	3.9
4	Tiourea	800 ppm	4.3
5	Sin	---	4.9
6	Sin	---	6.9
7	Sin	---	10.5
8	Nitrito	150 ppm	10.5
9	Nitrito	200 ppm	10.7
10	Nitrito	350 ppm	10.5

La figura 1 muestra las curvas granulométricas típicas obtenidas de la alimentación y descarga del molino. Hasta el momento no se ha evaluado las características de la carga interna del molino obtenida en los ensayos.

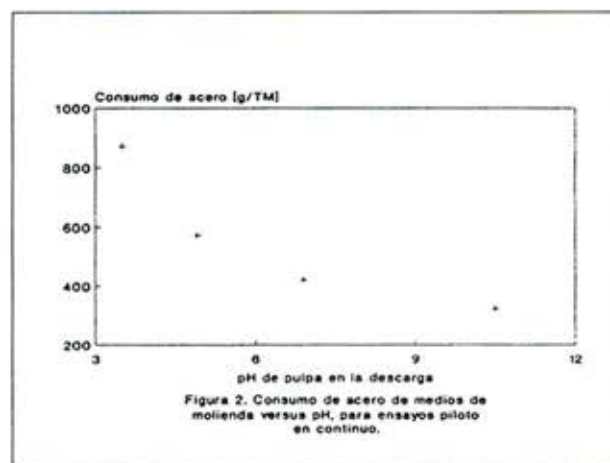


En la tabla 3 se resumen los consumos de acero, a la forma de bolas de molienda, obtenidas a realizar

ensayos de molienda continua a diferentes pH, sin utilizar reactivos inhibidores de corrosión. Las variaciones en la cantidad de mineral procesado se deben al tiempo que se requirió para estabilizar el sistema. La figura 2 muestra estos resultados en forma gráfica.

Tabla 3: Consumo de acero de medios de molienda, obtenido a diferentes pH sin la utilización de reactivos inhibidores de corrosión.

Ensayo	pH	Mineral Procesado [TM]	Consumo Acero [g/TM]
1	3.5	0.510	871.07
5	4.9	0.420	573.35
6	6.9	0.450	420.86
7	10.5	0.420	322.71



En la Tabla 4, se entregan los resultados obtenidos al realizar ensayos de molienda a pH ácido, utilizando Tiourea como inhibidor de corrosión. Como se puede observar desde esta Tabla, el control del pH de pulpa se hizo más difícil a medida que se aumenta la cantidad de Tiourea que se agrega al molino. El efecto de la cantidad de Tiourea presente en el molino sobre el consumo de acero de los medios de molienda se presenta gráficamente en la Figura 3.

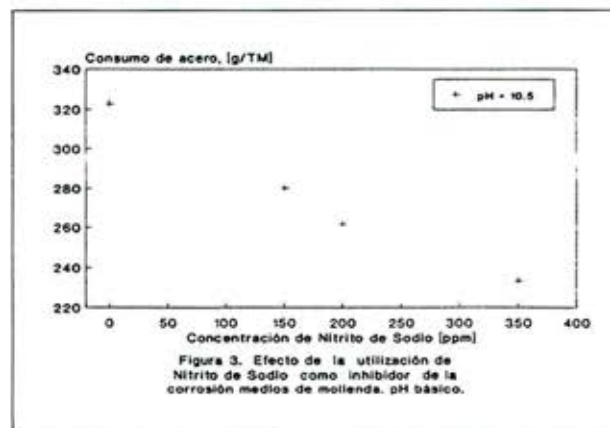


Tabla 4: Consumos de acero de medios de molienda, obtenidos a pH ácido, utilizando Tiourea como inhibidor de corrosión del acero.

Ensayo	pH	Tiourea [ppm]	Mineral Procesado [TM]	Consumo Acero [g/TM]	[%]
1	3.5	0	0.510	871.07	100.0
2	3.8	200	0.480	746.50	85.7
3	3.9	400	0.540	713.90	81.9
4	4.3	800	0.510	586.10	67.3

La Tabla 5 resume los resultados obtenidos al utilizar Nitrito de Sodio como inhibidor de corrosión de los medios de molienda, en ambiente básico, pH 10.5. Este resultado se entrega en forma gráfica en la Figura 4.

Tabla 5: Consumos de acero, como medios de molienda, obtenidos a pH básico, utilizando Nitrito de Sodio como modificador de pulpa.

Ens.	pH	Nitrito [ppm]	Mineral Procesado [TM]	Consumo Acero [g/TM]	[%]
7	10.5	0	0.420	322.71	100.0
8	10.5	150	0.516	280.31	86.8
9	10.7	200	0.480	261.35	81.0
10	10.5	350	0.603	233.29	72.3

DISCUSION DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En los ensayos de evaluación del desgaste de medios de molienda, no se observó variaciones notorias en la capacidad de procesamiento, granulometría de descarga ni consumo de potencia del molino. El tiempo empleado en molienda en los ensayos realizados fluctuó entre 3:30 hasta 5:00 horas.

Las conclusiones que se desprenden del trabajo realizado son:

- Es posible reducir el desgaste de medios de molienda, utilizando bajas concentraciones de reactivos inhibidores de corrosión, en la molienda húmeda de minerales, tanto a pH ácido como básico.
- Se obtuvieron reducciones en el consumo de acero de 323% a pH ácido utilizando Tiourea en concentración de 800 ppm en el flujo de alimentación, y reducciones de 27% a pH ácido, con nitrito de Sodio, en niveles de 350 ppm, respecto a ensayos realizados sin la adición de reactivos.
- El consumo de reactivos debería disminuir al evaluar ensayos en circuito cerrado.
- Se debe evaluar el efecto de los reactivos utilizados sobre la viscosidad de la pulpa dentro del molino y, principalmente, su efecto en el proceso posterior de flotación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento recibido del proyecto de Naciones Unidas para el Desarrollo CHI/88/011 "Desarrollo Tecnológico de la Cominución en la Industria Nacional" y al Departamento de Ingeniería Metalúrgica de la universidad de Santiago de Chile por la infraestructura utilizada en la realización de las pruebas.

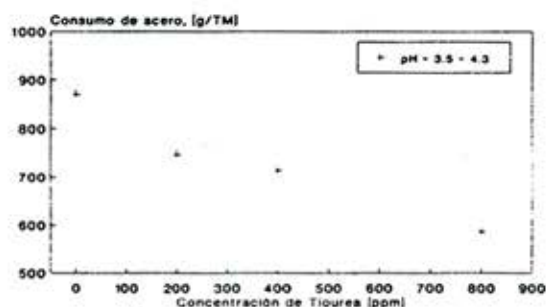


Figura 4. Efecto de la utilización de Tiourea como inhibidor de la corrosión de medios de molienda. pH ácido.

REFERENCIAS

- 1.- Magne L. "Racionalización del Consumo de Acero y Energía en Molinos Rotatorios", Tesis de Grado Programa de Magister en Ciencias de la Ingeniería Mención Metalurgia, Universidad de Concepción. No publicada.
- 2.- Meulendyke, J. et al. "Practical Aspects of Corrosion in the Wear of Grinding Media", SME/AIME Fall meeting, Denver, Colorado, USA. October 1984.
- 3.- Perez, R. et al. "Interaction of Corrosion and Abrasion in Grinding Media Wear", SME/AIME Fall Meeting, Los Angeles, California, USA. February 1984.
- 4.- Natarajan, K. and Iwakasi, I. "Electrochemical Aspects of Grinding Media-Mineral Interactions in Magnetite Ore Grinding", International Journal of Mineral Processing, 13. 1984.
- 5.- Natarajan, K., Iwasaki I. et al. "Influence of Pyrrhotite on the Corrosive Wear of Grinding Balls in Magnetite Ore Grinding", International Journal of Mineral Processing, 13. 1984.
- 6.- Op. Cit. 4,5.

- 7.- Iwasaki, I., Natarajan, K. et al. "Nature of Corrosive and abrasive Wear in Ball Mill Grinding", *International Journal of Mineral Processing*, 22. 1988.
- 8.- Isaacso, A. "Effect of Sulfide Minerals on Ferrous Alloy Grinding Media Corrosion", *Bureau of Mines 9244*. 1989.
- 9.- Barría, J. "Alternativas de protección Catódica para Disminución de la Corrosión en Molienda Húmeda", *Trabajo de Titulación Ingeniería Civil Metalúrgica, Universidad de Santiago de Chile*. 1990.
- 10.- Barría J., Guajardo R., Hecher C., Menacho J., "Disminución del Consumo de Acero en la Molienda Húmeda de Minerales Mediante Corriente Imouesta". 39ª Convención Instituto de ingenieros de Minas de Chile, Pta. Arenas, Nov. 1988.
- 11.- Barría J., Guajardo R., Menacho J., Hecker C., "Protección Catódica en la Molienda de Minerales", 3er. Congreso Ibero-Americano de Corrosión y Protección, Rio de Janeiro, Brasil, Vol. III, pp. 1409-1422.
- 12.- Barrientos, W., Rojas, D., "Estudio de Protección de medios de Molienda en Planta de Pelets-Huásco, de la Compañía Minera del pacífico (CMP)". *Revista Minerales* vol. 45 N° 192.
- 13.- Hoey, G. et al. "Corrosion Behaviour of Various Steels in Ore Grinding", *CIM Bulletin, Canadá*. February 1977.
- 14.- Hoey, G. et al. "Corrosion Inhibitors Reduce Ball Wear in Grinding Sulphide Ore", *CIM Bulletin, Canada*. March 1975.

SERVICIO DE COOPERACION TECNICA



ASOCIATIVIDAD, REDES Y ALIANZAS: Una forma de trabajo del futuro para apoyar el desarrollo de la pequeña y mediana industria.

Sr. Empresario, en nuestras 21 oficinas a lo largo de todo el país le ofrecemos proyectar el futuro, aprovechando los instrumentos de fomento que el **Programa de Apoyo a la PYME** pone a su disposición a través de SERCOTEC:

- SISTEMA DE INFORMACION EMPRESARIAL
- FONDO DE ASISTENCIA TECNICA
- PROYECTOS DE FOMENTO
- CAPACITACION
- CORCAPYME
- TARJETA DE CREDITO PARA LA PRODUCCION
- BOLSA DE SUBCONTRATACION

SERCOTEC • Huérfanos 1117, 9° p., Teléfono: 6981853
Catedral 1063, 2° p., Teléfono: 6968037, Stgo.

EVALUACION DE VARIABLES DE OPERACION EN MOLIENDA SEMIAUTOGENA

AUTORES: Luis Magne O.*
Jorge Barria C.
Rodrigo Améstica V.
Jorge Menacho LL.

* Universidad de Santiago de Chile,
Avda. Lib. Bernardo O'Higgins 3363,
Casilla 10233, Santiago - Chile. Fax
(562)-6811545.

Centro de Investigación Minera y Meta-
lúrgica, Avda. Parque Antonio Rabat
6500, Las Condes, Casilla 170 Correo
10, Santiago - Chile. Fax (562)-2185123.

*Artículo presentado en Segundo Congreso en
Metalurgia e Ingeniería de Materiales, IBEROMET
II. 8-14 de noviembre de 1992, Instituto Tecnológico
de Monterrey, Campus Estado de México,
México.*



Luis Magne O.

INTRODUCCION

En los últimos años, la molienda semiautógena ha experimentado un crecimiento importante debido principalmente a los bajos costos totales de conminución, en comparación con el chancado y molienda convencional [1], en particular en lo relativo a inversiones de capital.

Las molienda autógena (AG) es un proceso de reducción de tamaño, en el cual rocas de hasta 8" de diámetro son alimentadas a un molino tubular, cuya característica principal es que el diámetro es 2 a 3 veces su largo. La molienda semiautógena (SAG) es una variación del proceso AG, en la que se adicionan medios de molienda, generalmente de 5 a 10% con respecto al volumen interno del molino.

En estos procesos el mineral actúa como medio de molienda, provocando que las partículas menores sean fracturadas por las más gruesas. También ocurren pérdidas de masa por abrasión, en el cual el núcleo interno de la partícula permanece intacto. Otro mecanismo que se ha definido es el chipping, que describe una serie de combinaciones de los mecanismos extremos descritos anteriormente. En la molienda semiautógena, adicionalmente se agrega el efecto de las bolas, las que tienen por finalidad fracturar las partículas de tamaño más grueso. La importancia de cada uno de estos mecanismos cambia con el tamaño de partícula, por lo que muchas descripciones matemáticas desarrolladas hasta hoy han intentado explicarlos por separado.

La modelación de la molienda autógena y semiautógena es relativamente reciente, en comparación con la molienda convencional. Comenzó en 1974 cuando Stanley [2], trabajando en molienda autógena, propuso un modelo matricial con tres rangos de tamaño: uno para partículas gruesas con la reducción de tamaño ocurriendo a través de mecanismos superficiales, uno para partículas finas que son fracturadas por las más gruesas y una región de transición en la que ocurren ambos mecanismos. Posteriormente se tienen los desarrollos fenomenológicos de Weymont [3], Austin [4], Barahona [5], Menacho [6], Morrey y Morrison [7]. En cuanto a la modelación dinámica, el primer modelo fue desarrollado por Gault [8] y posteriormente se

destaca la contribución realizada por Herbst [9].

En los últimos tres años, investigadores del Centro de Investigación Minera Metalúrgica (CIMM) y Universidad de Santiago de Chile han desarrollado un Modelo Fenomenológico Simplificado de Molienda Semiautógena [10][11], basado en los modelos de balance poblacional existentes, caracterizado

por el uso del concepto de velocidad efectiva de molienda, que combina los mecanismos de fractura, chipping y abrasión en sólo un parámetro, K_i . En este artículo se presenta la metodología desarrollada para evaluar los parámetros de las ecuaciones propuestas para este modelo.

MODELO FENOMENOLOGICO SIMPLIFICADO DE MOLIENDA SEMIAUTOGENA

Dados los procesos unitarios que ocurren al interior del molino semiautógeno, se pueden distinguir dos zonas según el proceso que tiene lugar en ellas, Figura 1. En la primera, definida como cámara de molienda, se identifica y modela la ocurrencia del proceso de molienda. En la segunda, que se define como cámara de descarga, se verifica la clasificación por la parrilla interna y la posterior evacuación del material como producto final. En la Figura 1, las partículas alimentadas al molino ingresan a la cámara de molienda, cuyo producto enfrenta la parrilla interna, donde de acuerdo a una probabilidad de clasificación las partículas pueden retornar a la cámara de molienda o formar parte del flujo de descarga.

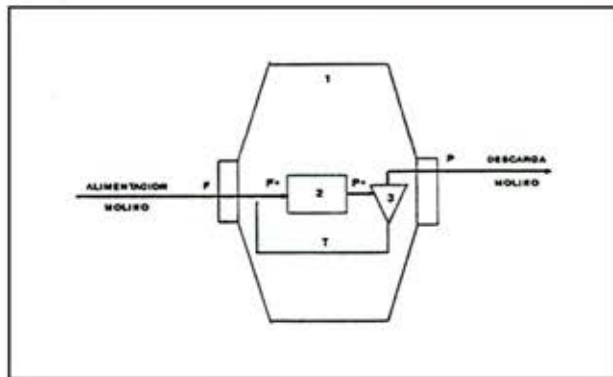


Figura 1. Representación esquemática del modelo de molienda semiautógena planteado. (1) Molino real; (2) Cámara de molienda; (3) Parrilla de clasificación interna.

El balance de masa que constituye la base del modelo de molienda desarrollado es:

$$\frac{dw_i}{dt} = \left(\frac{P^*}{W} \right) (1 - c_i) w_i - K_i w_i - (K_i - K_{i-1}) \sum_{l=1}^{i-1} w_l + f_i$$

donde w_i es la masa de material de tamaño i en la carga interna del molino medida en toneladas, f_i es el flujo másico de material de tamaño i en la alimentación del molino, t/h, c_i es la función de clasificación interna, P^* es el flujo másico de descarga de la cámara de molienda, t/h y W es la masa total de mineral en la carga interna del molino en toneladas. La forma parametrizada de la función velocidad efectiva de molienda utilizada es la propuesta por Austin [12]:

$$K_i = a \left(\frac{x_i}{x_0} \right)^{\alpha} \frac{1}{1 + \left(\frac{x_i}{\mu} \right)^{\Lambda}} + a_s \left(\frac{x_i}{x_1} \right)^{\alpha_s}$$

siendo a , α , μ , Λ , a_s , α_s los parámetros característicos del sistema en estudio, con a y a_s en $1/h$, μ en mm, $x_0 = 1$ mm y $x_1 = 152$ mm. Al igual que en molienda convencional, se supone que la función velocidad efectiva de molienda es proporcional a la potencia específica suministrada al molino:

$$K_i = K_i^E \frac{M_p}{W}$$

donde K_i^E se define como función velocidad efectiva específica de molienda, en t/kWh y M_p es la potencia en kW.

El balance en el sistema de descarga se realiza definiendo un vector de eficiencia de clasificación, c_i , que tiene implícito dos efectos: el producido por la parrilla interna del molino y el del sistema de evacuación de pulpa. Así, c_i queda definido por:

$$1 - c_i = \frac{p_i}{P_i^*}$$

p_i^* y p_i son los flujos por tamaños en la alimentación y rebalse del clasificador, en t/h. Suponiendo que el molino se comporta como un reactor perfectamente mezclado, P_i^* se relaciona con la masa por tamaños de la carga interna a través de la siguiente relación:

$$P_i^* = \left(\frac{P^*}{W} \right) w_i$$

con P^* y W ya definidos. Por lo tanto, c_i es directamente proporcional a la razón p_i/w_i . En este modelo la forma parametrizada de la función clasificación es:

$$c_i = \psi \beta (x_i M)^{\beta-1} \exp(-\psi (x_i M)^{\beta}) + \frac{1}{1 + \left(\frac{x_i}{x_{50}} \right)^Z}$$

donde ψ , β , M , Z y x_{50} son parámetros característicos.

La ecuación de consumo neto de potencia a evaluar, es la relación de Bond modificada por Austin [13]:

$$M_p = K D^{2.5} L (1-AJ) \left(\frac{W}{V} \right) \phi_c \left[1 - \frac{0.1}{2^{9-10\phi_c}} \right] [kW]$$

donde D y L son las dimensiones del molino en m, V es el volumen interno en m³, ϕ_c es la fracción de velocidad crítica del molino y J el nivel de llenado de carga interna del molino, K y A son los parámetros de la ecuación.

ENSAYOS PILOTO DE MOLIENDA SEMIAUTOGENA

Se realizaron ensayos piloto con objeto de evaluar el efecto de variables de operación del molino semiautógeno, tales como:

- Flujo de alimentación al molino
- Granulometría de alimentación
- Porcentajes de sólidos en la descarga
- Nivel de llenado de bolas,

sobre las siguientes condiciones de operación del molino:

- Granulometría del producto
- Masa del mineral en la carga interna
- Masa de agua en la carga interna
- Granulometría de carga interna
- Tiempo medio de residencia del material dentro del molino
- Consumo de potencia del molino.

Se consideró como condición estándar, para la evaluación de resultados, el ensayo en que las variables de operación son:

- Flujo de alimentación al molino: 3450 kg/h
- Granulometría de alimentación:
10.4 % sobre 4"
11.7 % entre 4" y 2"
77.9 % bajo 2"
- Porcentaje de sólidos en la descarga: 74.0% en peso.
- Porcentaje de llenado de bolas: 8.5 % en volumen.

Los niveles de fluctuación que tuvieron las variables de operación en estudio son:

- Flujo de alimentación al molino: 3350 a 3720 kg/h
- Granulometría de alimentación: Eliminando el material de 4"x2"
- Porcentaje de sólidos en la descarga: 63 a 80 % en peso
- Porcentaje de llenado de bolas: 0 a 8.5 % en volumen.

Además se realizaron 5 ensayos repetidos para evaluar la reproducibilidad de resultados. La Tabla 1 entrega un resumen de resultados de los ensayos realizados, destacándose la variable observada, y los resultados obtenidos en relación al consumo de potencia y nivel de llenado de carga interna. En la realización de las pruebas se utilizaron alrededor de 350 toneladas de mineral sulfurado de cobre. El mineral fue clasificado en tres fracciones de tamaños: +4", -4"/+2" y -2". Con cada una de estas partes se preparó la carga a utilizar, con granulometría similar a la muestra total: 11 % sobre 4", 11 % entre 4" y 2" y un 78% bajo 2", aproximadamente. El equipo utilizado es un molino semiautógeno marca Koppers de 6' de diámetro por 2' de largo tipo cascada; posee descarga por parrilla de 1/2" de abertura, y opera a 72% de la velocidad crítica ($V_c = 32.14$ rpm). La carga de bolas utilizada fue 50% bolas de 4 plg y 50% bolas de 3 plg. La energía neta consumida por el molino de cascada se determina mediante la curva de eficiencia, construida en base a calibraciones efectuadas con un freno Prony.

TABLA 1. Resumen de resultados de los ensayos realizados a nivel piloto de molienda semiautógena.

Nº	Variable observada	Flujo de Alimentación [Kg/h]	% Sólidos Descarga [%]	Distri +4"	Distri 4/2"	Tam. -2"	Nivel Bolas [%]	Nivel Llenado [%]
2	Flujo	3379	74.20	9.2	11.9	78.9	8.5	16.5
12	Flujo	3450	73.92	10.4	11.7	77.9	8.5	18.2
3	Flujo	3723	73.68	11.2	11.5	77.3	8.5	32.7
10	% Sólidos	3514	63.17	12.1	8.4	79.5	8.5	17.8
4	% Sólidos	3527	70.64	13.2	11.1	75.9	8.5	17.8
12	% Sólidos	3450	73.92	10.4	11.7	77.9	8.5	18.2
5	% Sólidos	3490	79.20	11.3	9.8	78.9	8.5	25.3
6	Dist. Gran.	3584	74.22	17.3	0.0	82.7	8.5	17.1
7	Dist. Gran.	3554	73.78	18.0	0.0	82.0	4.0	20.6
12	Dist. Gran.	3450	73.92	10.4	11.7	77.9	8.5	18.2
11	% Bolas	1751	73.38	12.6	9.0	78.4	0.0	24.0
9	% Bolas	2542	73.65	9.7	11.1	79.2	3.0	22.4
8	% Bolas	3057	72.40	10.3	11.3	78.4	6.0	23.2
12	% Bolas	3450	73.92	10.4	11.7	77.9	8.5	18.2
1	Repet. 12	3539	74.05	10.9	10.5	78.6	8.5	18.2
13	Repet. 12	3461	74.05	12.6	9.2	78.2	8.5	18.6
14	Repet. 12	3488	74.50	15.7	5.9	78.4	8.5	18.7
15	Repet. 4	3586	70.56	15.7	11.7	78.4	8.5	17.1
16	Repet. 4	3621	70.85	16.1	6.5	77.4	8.5	22.7

Distribución Tam.

Una vez definidas las condiciones de operación, las mediciones que se realizaron en cada ensayo son las siguientes:

- Nivel de llenado de la carga interna del molino
- Masa de la carga interna húmeda y seca
- Volúmen de la carga interna húmeda y seca
- Granulometría de la carga interna
- Granulometría de la descarga del molino
- Consumo de potencia del molino.

Cada ensayo se inició con la carga interna obtenida en la evaluación anterior, con objeto de disminuir el tiempo de estabilización del molino. En la mayoría de los ensayos realizados se inició la operación del molino en la condición estándar y una vez estabilizada la operación, se provocó el cambio en la variable programada. Una vez estabilizado el sistema nuevamente, se procedió a tomar muestras de descarga del molino y a registrar el consumo de potencia. Durante este período se realizó la determinación de la distribución de tiempos de residencia del fluido. Al final de cada ensayo el molino se detuvo al mismo tiempo que se cortó el flujo de alimentación de mineral y agua, con el propósito de medir el nivel de llenado del molino directamente. El contenido del molino era descargado a tambores para determinar su peso y volúmen húmedo, y una vez seco se determinó su distribución granulométrica después de ser pesado. Las mayores dificultades se encontraron para obtener con precisión el agua contenida en la carga interna, siendo también difícil asegurar una total recolección de los finos.

Una vez estabilizado el molino en la condición de operación en estudio, la obtención de muestras para evaluar las características granulométricas y de porcentaje de sólidos de la descarga se realizó durante una hora en intervalos de 10 minutos. Por otro lado, en el período de muestreo se separaron 4 tambores de alimentación al azar, de los cuales se obtuvieron dos muestras para su caracterización granulométrica. En forma paralela, en cada ensayo, se realizó la determinación de la distribución de tiempos de residencia (DTR) del agua en el molino, utilizando como trazador cloruro de sodio. La cuantificación del trazador recuperado en la descarga se hizo a través de la medición de la conductividad del agua. Para ello se tomaron 30 muestras de la descarga en los siguientes intervalos de tiempo:

- 2 muestras antes de agregar el pulso
- 10 muestras de 0 a 90 segundos, cada 10 segundos
- 6 muestras desde los 110 a 210 segundos, cada 20 segundos
- 4 muestras desde los 240 a 330 segundos, cada 30 segundos
- 8 muestras desde los 390 a 810 segundos, cada 60 segundos.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

- Reproducibilidad de resultados

Los resultados de capacidad, nivel de llenado y consumo de potencia en los ensayos repetidos se

muestra en la Tabla 2. De aquí se puede apreciar que el grado de reproducibilidad de los resultados obtenidos en los ensayos realizados es muy alto, lo que se aprecia especialmente en el consumo específico de energía, el que tiene un rango de variación pequeño para cada grupo de ensayos.

TABLA 2. Comparación de resultados obtenidos en ensayos repetidos.

Nº	Distribución Gran. +4" 4"x2" -2"			Potencia [kW]	Energía Específica [kWh/t]	Nivel Llenado [%]
1	10.9	10.5	78.6	9.30	2.59	18.2
12	10.4	11.7	77.9	9.35	2.71	18.2
13	12.6	9.2	78.2	9.15	2.64	18.6
14	15.7	5.9	78.1	8.89	2.55	18.7
4	13.2	11.1	75.9	8.63	2.44	17.8
15	15.7	11.7	78.4	8.69	2.42	17.1
16	16.1	6.5	77.4	8.91	2.46	22.7

- Determinación del régimen de mezcla del molino

La Figura 2 muestra los resultados de la medición de DTR al agregar un pulso de trazador al agua de alimentación del molino, en los ensayos en que se varió el porcentaje de sólidos en la descarga. En este caso, el concepto esencial de la distribución de tiempos de residencia no es aplicado, ya que este tipo de sistemas es dominado por la fractura de partículas de tamaños grandes, por lo tanto estos resultados indican solamente el grado de mezcla de la pulpa a través del molino. De esta figura se aprecia que la curva DTR varía en una banda según el porcentaje de sólidos en la descarga del molino. En general se puede decir que el régimen de mezcla no se aleja significativamente de la condición de mezcla perfecta (decaimiento exponencial negativo). Esto es muy importante porque constituye una de las aproximaciones del modelo simplificado presentado anteriormente.

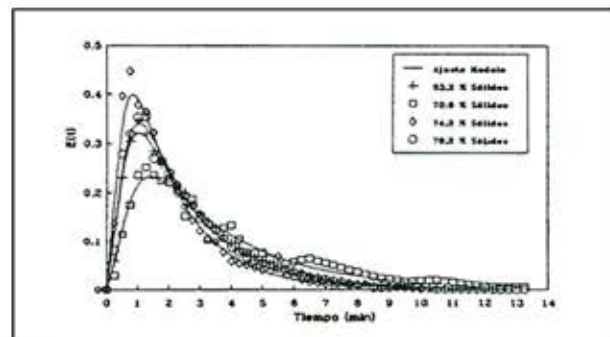


Figura 2. Curvas de DTR y ajuste de modelos de mezcla perfecta para molino semiautógeno piloto operando a diferentes porcentajes de sólidos en la descarga.

- Efecto del Flujo de Alimentación

Las granulometrías experimentales de alimentación, carga interna y producto del molino para los ensayos en que se estudió como variable el flujo de alimentación, se muestran en las Figuras 3, 4 y 5.

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 3. Se puede apreciar que una variación relativamente pequeña del flujo de alimentación provoca grandes variaciones en el nivel de llenado del molino. Esto significa que el rango de operación del molino es muy pequeño. También se observa que las distribuciones granulométricas de la carga interna del molino no varían mucho. Se aprecia que el cambio más significativo en la distribución granulométrica de la carga interna del molino se verificó para el nivel de llenado mayor. Esto parece ser producto de la de la inestabilidad del molino, ya que no se logró el estado estacionario a este flujo, lo que provocó una deficiencia de finos al interior del molino.

TABLA 3. Efecto del flujo de alimentación en la respuesta metalúrgica del molino semiautógeno.

Nº	Distribución Gran. +4" 4"x2" -2"			Flujo Aliment. [t/h]	Potencia [kW]	Energía Específica [kWh/t]	Nivel Llenado [%]
9	9.2	11.9	78.9	3.38	8.79	2.60	16.5
12	10.4	11.7	77.9	3.45	9.35	2.71	18.2
3*	11.2	11.5	77.3	3.72	10.10	2.72	32.7

* Molino no estabilizado, por lo que el nivel de llenado seguía en aumento.

-Clasificación Interna

La ecuación 5 del modelo supone que el molino tiene comportamiento de reactor perfectamente mezclado, por lo que se espera que las curvas granulométricas de carga interna y descarga del molino sean paralelas en los tamaños finos. En las Figuras 3, 4 y 5 se puede observar que estas curvas se alejan de esta condición, lo que se puede atribuir en parte a que no se cumple exactamente la condición de mezcla perfecta y en parte al error involucrado en la metodología de descarga del molino, secado del material y obtención de una muestra representativa de la carga interna. De las ecuaciones 4 y 5, la eficiencia de clasificación se puede escribir:

$$1 - c_i = \left(\frac{W}{P^*} \right) \frac{p_i}{w_i}$$

De aquí, para que se cumpla la suposición de mezcla perfecta, es necesario que la razón p/w_i sea constante para los tamaños finos. Por esto, un primer paso a realizar es recalcular la granulometría de carga interna del molino a través de la interpolación de una curva Spline cúbica en un gráfico p/w_i versus el tamaño de partícula, como se presenta en la Figura 6.

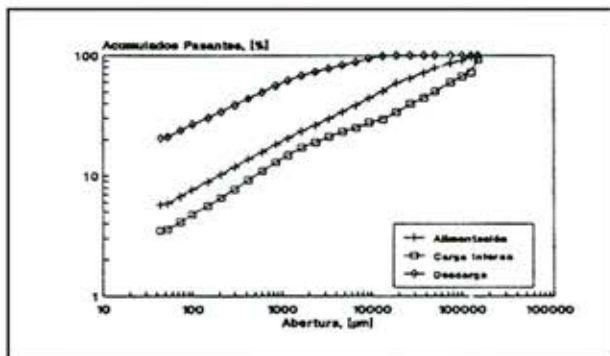


Figura 3. Granulometrías de alimentación, carga

interna y descarga de ensayo con flujo de alimentación al molino de 3.38 t/h.

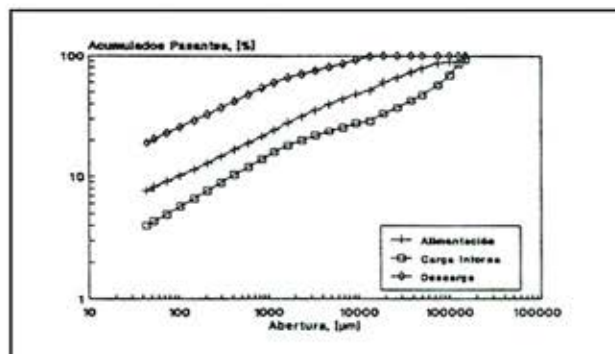


Figura 4. Granulometría de alimentación, carga interna y descarga en ensayo con flujo de alimentación al molino de 3.45 t/h.

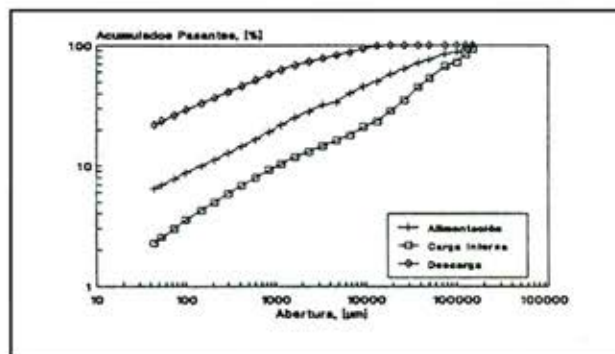


Figura 5. Granulometrías de alimentación, carga interna y descarga en ensayo con flujo de alimentación al molino de 3.72 t/h.

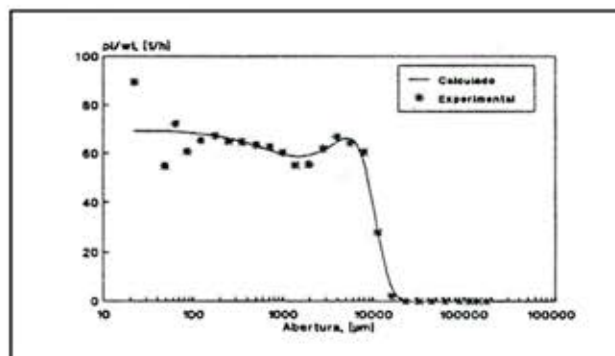


Figura 6. Ejemplo de corrección de la granulometría de carga interna desde la razón p_i/w_i .

Una vez corregida la granulometría de la carga interna, se procedió a determinar la curva de clasificación interna según la ecuación 8. La Figura 7 ilustra los resultados para los ensayos en que se varió el porcentaje de sólidos de la descarga. Se aprecia que todas las curvas presentan un mínimo local a los 10 mm aproximadamente el que tiende a desaparecer al disminuir el porcentaje de sólidos de la pulpa. En estos ensayos se observó una gran variación de la concentración en peso de sólidos en la pulpa de la carga interna del molino, habiéndose definido como pulpa en la carga interna, c_i , a la

mezcla de agua con partículas minerales de tamaño menor a 6.88 mm. La Tabla 4 muestra la variación de c_i con el porcentaje de sólidos en la descarga, X_d .

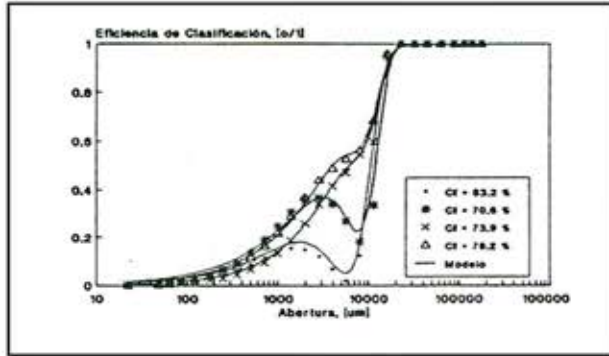


Figura 7. Curvas de clasificación interna de la parrilla para ensayos con diferentes porcentajes de sólidos en la descarga.

Tabla 4. Variación de los parámetros Ψ y M de la función de clasificación con el porcentaje de sólidos de la pulpa del molino.

X_d	c_i	Ψ	M
63.2	73.2	0.077	1.48
70.6	67.5	0.28	0.39
73.9	64.8	0.39	0.16
79.2	63.5	0.50	0.16

La variable de operación que incide más sobre los parámetros de la ecuación de clasificación, es el porcentaje de sólidos del flujo que enfrenta la parrilla, la que es representada por el porcentaje de sólidos de la pulpa interna del molino. Al evaluar los parámetros β , x_{50} y Z se encontró que presentan un pequeño rango de variación, por lo que se consideraron constantes con valores 1.36, 9.32 mm y 5.62 respectivamente. Los parámetros Ψ y M varían con el porcentaje de sólidos en la carga interna según se muestra en la Tabla 2. Las correlaciones obtenidas

$$\Psi = \exp(-13.12 \ln(c_i) - 6.61)$$

$$M = \exp(16.53 \ln(c_i) + 5.54)$$

- Ecuación para la Potencia

Para evaluar la ecuación de consumo de potencia del molino, W , la razón entre el peso de carga interna y volumen del molino se relaciona con el nivel de llenado de éste a través de la siguiente relación:

$$\frac{W}{V} = (1 - \epsilon_c) J \rho_s (1 - w_c) + 0.6 J_b (\rho_b - \rho_s (1 + w_c))$$

en que ϵ_c es la porosidad de la carga interna del molino, ρ_s y ρ_b son las densidades del mineral y

bolas, respectivamente, w_c es la razón entre la masa del mineral y masa de agua retenidas en el molino y J_b es el nivel de llenado de bolas. La determinación del nivel de llenado de carga interna del molino, se realiza deteniendo el molino y midiendo directamente la altura de la carga. Esto implica que la porosidad de la carga interna, ϵ_c , es una porosidad estática y se puede relacionar con la masa de mineral y bolas a través de la ecuación 11, siendo importante dejar constancia que ésta no considera el efecto del agua sobre el nivel de llenado:

$$\frac{W}{V} = (1 - \epsilon_c) J \rho_s - 0.6 J_b \rho_b$$

Así, graficando el peso de la carga interna de mineral, W , versus el nivel de llenado de carga interna, J se obtiene una recta de cuya pendiente es posible obtener ϵ_c . La Figura 8 presenta los resultados obtenidos para los ensayos en que se utilizó un nivel de llenado de bolas de 8.5%. El valor de ϵ_c obtenido es 0.308. Para estos ensayos la razón masa de mineral/masa de agua, w_c , presentó una pequeña variación cuyo promedio es 0.12 y los valores de las constantes de la ecuación de potencia determinados resultaron ser $K = 14.0$ y $A = 1.32$. La Figura 9 muestra los valores de potencia obtenidos experimentalmente y la predicción de la ecuación 7 con los parámetros definidos anteriormente.

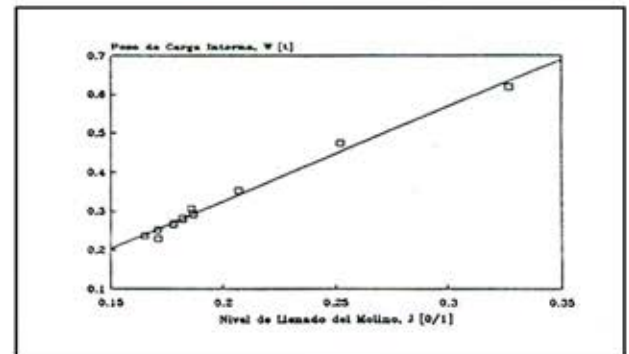


Figura 8. Variación del peso de carga interna con el nivel de llenado total del molino.

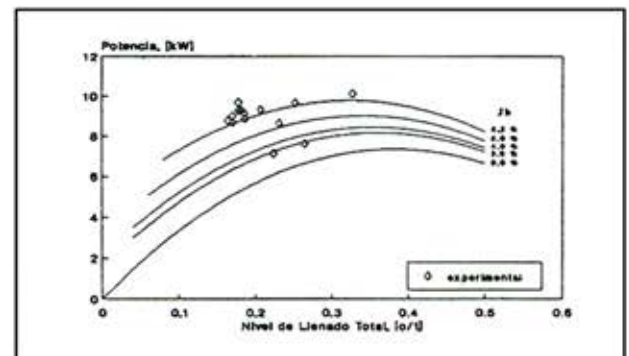


Figura 9. Variación del consumo de potencia con el nivel de llenado de carga interna del molino, experimental y simulado por la ecuación 7.

- Velocidad Efectiva Específica de Molienda

En las Figuras 10 a 13 se muestra la función velocidad efectiva específica de molienda, experimental y parametrizada, para cada prueba realizada, agrupada según la variable en estudio, es decir, para cambios en el flujo de alimentación de mineral, porcentaje de sólidos en la descarga, porcentaje volumétrico de llenado de bolas en el molino y distribución granulométrica en la alimentación.

En general, la curva parametrizada presenta un buen ajuste para todo el rango de tamaños, observándose una mayor dispersión en la región de los gruesos, que es atribuible a un mayor error experimental en la determinación de la granulometría de alimentación en la zona de partículas de tamaño grueso, especialmente de 4 a 8 pulgadas.

Los resultados muestran que la velocidad efectiva específica de molienda se mantiene relativamente constante con las diferentes condiciones de operación estudiadas, por lo que un conjunto de parámetros de esta función permitirán predecir la molendabilidad del mineral bajo las diferentes condiciones de operación en estudio. Esto implica que las variaciones observables en el sistema al producir cambios en las condiciones de operación son atribuibles, principalmente, al efecto de clasificación producido por la parrilla interna.

-Transporte de Masa a través del Molino

Al no existir una ley fundamental de transporte de material para molinos semiautógenos y considerando que las ecuaciones empíricas de Austin [14] y Morrel y Morrison [15] no ajustan con los resultados obtenidos, se desarrolló una ecuación a partir de las siguientes observaciones: El transporte de masa a través del molino depende del flujo de material que enfrenta la parrilla, P^* en toneladas por hora, de la distribución de tamaños en la carga interna del molino y de la eficiencia de clasificación interna.

Considerando la Figura 1, la carga circulante ficticia del circuito interno, $(1+C)$, se determina de la ecuación:

$$1+C = \frac{1}{1 - \sum_{i=1}^n P^* \cdot w_i}$$

para valores conocidos de P^* y de la clasificación c_i , P^* será, entonces $F(1+C)$. En la Figura 14 se presentan los valores de P^* obtenidos en la evaluación del circuito interno versus el peso de la carga interna W medida experimentalmente, para todos los ensayos realizados. De aquí, se puede observar que la cantidad de material presentado a la parrilla de clasificación interna por unidad de tiempo es función de la cantidad de material retenido en el molino. Esta relación se expresa por la ecuación empírica:

$$P^* = 29W^{0.5}$$

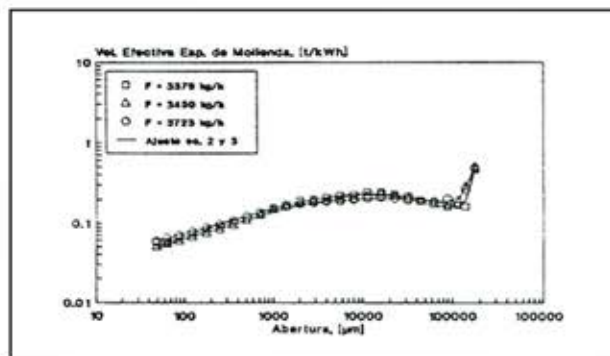


Figura 10. Velocidad efectiva específica de molienda, en t/kWh, para ensayos con diferentes flujos de alimentación.

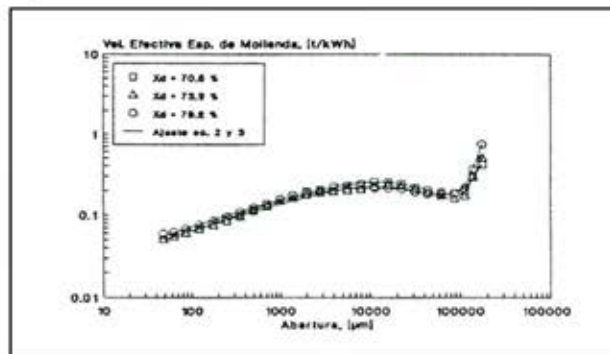


Figura 11. Velocidad efectiva específica de molienda, en t/kWh, para variaciones en el porcentaje de sólidos de la descarga.

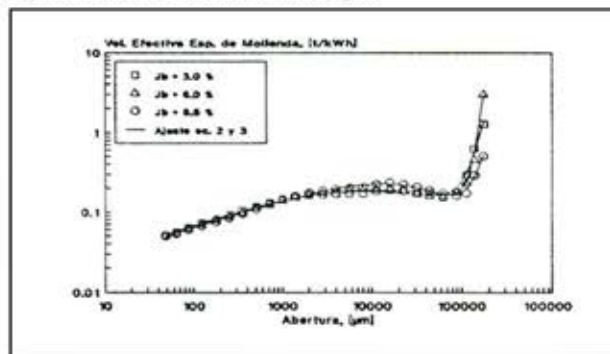


Figura 12. Velocidad efectiva específica de molienda, en t/kWh, para diferentes niveles de llenado volumétrico de bolas.

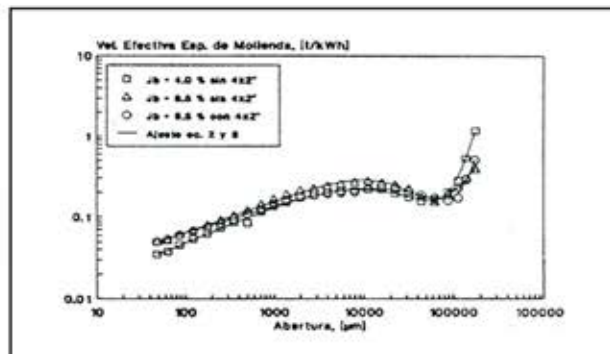


Figura 13. Velocidad efectiva específica de molienda, en t/kWh, para cambios en la granulometría de alimentación y nivel de llenado de bolas.

donde P^* está en t/h y W en t. Así, el transporte de masa en el interior del molino queda representado por la relación que existiría entre el flujo del mineral que proviene de la cámara de molienda, y que enfrenta la parrilla de descarga, y la masa de material retenido por el molino.

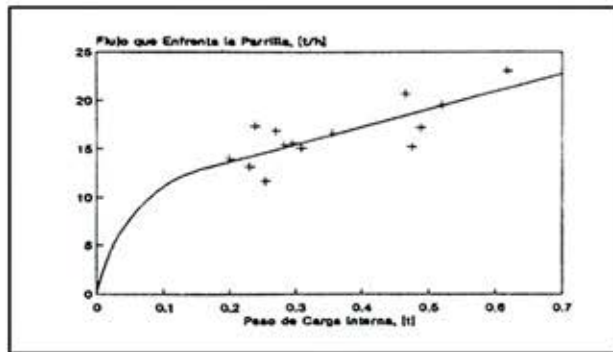


Figura 14. Ley de transporte de masa de mineral en molinos semiautógenos.

Conclusiones

- Se evaluaron los parámetros del modelo fenomenológico simplificado de molienda semiautógena desarrollado en CIMM, a través de ensayos piloto. La reproducibilidad de estos ensayos fue verificado a partir de ensayos repetidos.
- Se demostró que el régimen de mezcla de la pulpa en el molino es muy cercano al de un reactor perfectamente mezclado, corroborando una de las suposiciones del modelo.
- El consumo de potencia y nivel de llenado del molino son muy sensibles a la variación del flujo de alimentación. Al subir éste un 8% respecto del flujo estándar, el molino no logró ser estabilizado.
- Se determinó que la curva de clasificación de la parrilla interna es muy sensible a la variación del porcentaje de sólidos en el flujo de descarga.
- Se encontró que el porcentaje de sólidos en la pulpa interna del molino varía en forma inversa al porcentaje de sólidos en el flujo de descarga.
- La razón masa de agua/masa de mineral en la carga interna del molino tuvo una pequeña variación en los ensayos realizados, considerándose constante para la evaluación final.
- Se definió una porosidad estática para la carga interna del molino, que permite la evaluación del consumo de potencia del molino.
- La velocidad efectiva específica de molienda resultó relativamente constante para todos los ensayos realizados, pudiendo utilizarse un conjunto de parámetros para representar la moliendabilidad del material.

- Se define una ley de transporte de masa del mineral en el molino, como la relación entre el flujo que enfrenta la parrilla de clasificación interna y el peso de carga interna del molino.

Agradecimientos

Se agradece al Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo y al Centro de Investigación Minera y Metalúrgica por el financiamiento del proyecto CHI/88/011 en la actividad de Molienda Semiautógena y al proyecto FONDECYT 50/90 por el financiamiento de la Tesis de doctorado de uno de los autores. También se agradece la colaboración del Dr. Leonard Austin en el análisis de resultados.

Referencias

1. Koivistoinen, P., Virtanen, M., Eerola, P., Kalapudas, R., "A Comminution Cost Comparison of Traditional Metallic Grinding, Semiautogenous Grinding (SAG) and Two-Stage Autogenous Grinding". *Advances in Autogenous and Semiautogenous Grinding Technology*, Vol.2. Vancouver, 1989.
2. Stanley, G.G., "A Mathematical Model Derived from Pilot and Industrial Scale Experiment". *PhD Thesis, University Queensland, Australia*. 1974.
3. Weymont, N.P., "The Analysis and Simulation of Autogenous Grinding System". *PhD Thesis, The Pennsylvania State University*, 1979.
4. Austin, L.G., Weymont, N.P. Prisbry, K., and Hoover, M., "Preliminary Result of the Modeling of Autogenous Grinding". *Proc. 14th International APCOM Conference, The Pennsylvania State University*, ed. R.V. Ramani, AIME New York, 1977. PP. 207-226.
5. Barahona, C.A., "Modeling and Simulation of Semi-Autogenous Grinding System". *MSc Thesis, The Pennsylvania State University*. 1984.
6. Menacho, J.M., "Some Solution for the Kinetics of Combined Fracture and Abrasion Breakage", *Powder Technology*, Vol 49-1, 1986, pp. 87-95.
7. Morell, S. and Morrison, R.D., "Ore Charge, Ball Load and Material Flow Effects on an Energy Based SAG Mill Model". *Advances in Autogenous and Semi-Autogenous Grinding Technology*, vol.2. Vancouver, 1989.

SERCOTEC: PROYECTOS DE FOMENTO - PROFO FUNDICIONES

UNA IDEA ORIGINAL

La iniciativa original se originó con el propósito de definir y desarrollar una estrategia del Sector Público para promover a través de la asociatividad entre Pequeñas y Medianas Empresas (PYMES), la modernización de cada unidad económica, o sea, su adecuación a las condiciones y a la dinámica del entorno en el momento actual.

Cada proyecto de fomento ha sido constituido por empresas con factores productivos y de localización comunes, organizadas en torno a objetivos concretos para aprovechar economías de escala y desarrollar, formas de complementación productiva, transferencias de tecnologías, conocimientos y experiencias, uso de nuevas herramientas en los diversos ámbitos de acción y enfrentar conjuntamente los exigentes desafíos de la competencia en los mercados nacionales e internacionales.

Para las PYMES, dentro del campo empresarial, es particularmente difícil encontrar la solución de los problemas, que les permita mantener un ritmo de actividad constante y acorde a su necesaria sobrevivencia e ir desarrollando simultánea y armónicamente proyectos, planes y programas de modernización.

La unión de empresas parece una solución indudablemente apropiada para cumplir esos objetivos, sin embargo este nuevo elemento es un escollo en si mismo y se transforma en el primer proyecto a ser desarrollado y realizado satisfactoriamente.

Para unir empresas que disputan el mismo mercado no es suficiente la formación de un grupo para conseguir una acción en conjunto, ya que a pesar de tener una misma naturaleza, cada uno tiene sus propios problemas y concepciones del quehacer empresarial. Es necesario obtener un nivel de participación homogéneo en un clima de confianza y una fluidez en las relaciones entre sus miembros, lo que implica un cambio de actitud y mentalidad de los empresarios.

El Servicio de Cooperación Técnica (SERCOTEC) ha activado 16 PROFOS a lo largo del país, los que se han manifestado como una respuesta original al desafío del actual proceso económico, mostrándose adaptables a diversas situaciones puntuales, estimulador de la creatividad y capacidad empresarial y como medio articulador de los empresarios con las estrategias de desarrollo local y sectorial.

El PROFO Fundiciones de la Región Metropolitana fue creado como respuesta a un diagnóstico realizado por SERCOTEC en el sector y dentro del marco de ejecución de la estrategia de asociatividad de las PYMES, el 01 de Diciembre de 1992 durante el Primer encuentro Empresarial PROFO Fundiciones, donde participaron 46 empresarios representando a 38 fundiciones.

En ese mismo acto, se eligió una directiva de los empresarios y fueron inscritas 24 fundiciones que hoy forman este PROFO. En conjunto, SERCOTEC y esa

directiva desarrollaron un programa de acciones que culminaron con la contratación de un Gerente para coordinar las actividades de la organización.

Como ya fue expresado, cada grupo de empresas que componen un PROFO, tiene sus propias características y también la forma de desarrollar las actividades que le permitan actuar coordinadamente en su entorno, pero tienen en común los objetivos, que pasan por la consolidación armoniosa del conjunto, elaboración de programas de acción y ejecución de las etapas que les permita ir gradualmente mejorando como empresa individual o colectiva.

Inicialmente el PROFO Fundiciones estableció un programa de trabajo dividido en dos grandes grupos:

- a) Actividades que atienden los intereses de las 24 empresas, como por ejemplo en el campo de la descontaminación, formación de mano de obra, capacitación en gestión, localización común a más largo plazo, etc.
- b) Actividades diferenciadas para 3 subconjuntos con características de producción claramente distintas.
 - b.1. Fundiciones Ferrosas, compuesto por 8 empresas.
 - b.2. Fundiciones no Ferrosas Industrial, compuesto por 9 empresas que atienden fundamentalmente el sector industrial.
 - b.3. Fundiciones no Ferrosas Artísticas, compuesto por 7 empresas.

Este modo de organizarse corresponde a las características y necesidades propias del conjunto, pudiendo diversificarse en el futuro para facilitar contactos más amplios con la realidad externa, conseguir recursos como cooperación internacional, desarrollar medios de información más especializados en sus áreas de actuación, relación con otros socios potenciales, etc. o en otros aspectos para desarrollar programas conjuntos de producción, comercialización, inversión, negociación, subcontratación, elaboración e implementación de proyectos, etc.

Para desarrollar cada actividad del programa se han establecido comisiones de trabajo que investigan la información existente, la procesan y archivan ordenadamente y emiten informes que son colocados a consideración del subconjunto o conjunto, dependiendo del tema abordado y su alcance.

Los objetivos a corto, mediano y largo plazo son ambiciosos. El trabajo programado es arduo; pero el entusiasmo con que los empresarios están trabajando en sus comisiones, el grado de unión que mejora día a día con visitas de empresa a empresa, el "descubrimiento" de caminos simples para resolver algunos viejos problemas y especialmente la creatividad que se manifiesta en cada acción, nos permite mirar con confianza el futuro inmediato de este Profo, y de este promisorio camino.

GPSS/H: UNA RESPUESTA PARA SIMULACION EN UN COMPUTADOR PERSONAL

RENE BUSTAMANTE(*),
GLORIA GIACAMAN Y
MARCO BARRA(**)

(*) USACH, FAC. DE ING. DEPTO. METALURGIA
(**) U.C. del Norte, FAC. ING. Y CS. GEOLOGICAS,
DEPTO. INFORMATICA

RENE
BUSTAMANTE



1.- INTRODUCCION

La simulación es una técnica de investigación operativa, que modela un sistema existente o no y realiza experimentos con el, para así comprender el comportamiento del sistema o evaluar diferentes alternativas operacionales.

Los sistemas reales en general son muy complejos, debido a ello es difícil plantearse una solución matemática y por lo tanto, se estudiarán por medio de una simulación. Se evaluará el modelo por medio del computador y se obtendrán datos que estimen las características deseadas del modelo. Por ejemplo, para estudiar distintas alternativas en la ampliación de una planta industrial es ventajoso usar simulación, ya que es imposible comprar los equipos que se requieren para probar todas las alternativas de estudio.

Hay tres alternativas que se pueden usar para evaluar el comportamiento de un sistema en estudio, lo que se muestra en la Figura 1. En el extremo izquierdo de la figura está la experimentación con el sistema real, en el extremo derecho el modelo matemático y entre estos se encuentra la simulación.

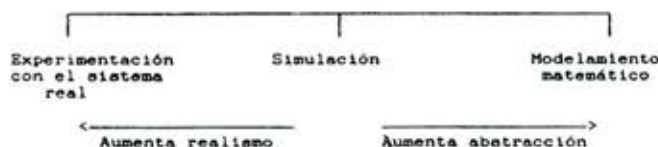


Figura 1.

Los sistemas a estudiar pueden ser discretos o continuos. Los discretos son aquellos en que las variables de estado (variables necesarias para describir el sistema en un instante dado) cambian en número finito de puntos en el tiempo. Un ejemplo de esto es un banco comercial, cuya variable de estado "Número de Clientes" cambia sólo cuando llega o sale un cliente.

Los sistemas continuos son aquellos en que las variables de estado cambian continuamente respecto al tiempo. Por ejemplo, si el sistema es un avión en vuelo, las variables de estado "Posición" y "Velocidad" cambian continuamente en el tiempo.

Los sistemas a estudiar serán discretos, dinámicos y estocásticos.

Un sistema dinámico es aquel que evoluciona en el tiempo. Por ejemplo, la simulación de un banco a través de 8 horas de trabajo.

Un sistema estocástico es aquel que contiene una o más variables aleatorias (distribuciones estadísticas de algunos fenómenos). Los resultados son aleatorios y por lo tanto, sólo estimaciones de las características verdaderas del modelo. Por ejemplo, el tiempo entre llegadas y el tiempo de permanencia de los clientes en un banco.

Para programar modelos discretos, se necesita una serie de características esenciales en el software, las cuales son:

- Generar números aleatorios de distribución uniforme (0,1)
- Generar variables aleatorias desde alguna distribución específica
- Avanzar el tiempo simulado
- Determinar el próximo evento
- Recolectar y analizar datos
- Informar los resultados
- Detectar condiciones de error

Estos rasgos comunes a la mayoría de los programas de simulación condujeron al desarrollo de lenguajes de simulación de propósito especial. La mejora, normalización y mayor disponibilidad de tales lenguajes han sido los factores que han aumentado su uso y popularidad en los últimos años.

Las estadísticas señalan a FORTRAN como el lenguaje más usado en simulación, pero esto se debe al amplio conocimiento que los programadores tienen de éste, la gran disponibilidad en las diversas instalaciones de las empresas, las que por no tener una gran actividad de simulación no compran un lenguaje especializado.

Si se desea elegir un lenguaje de simulación para las aplicaciones de una determinada empresa, se deben tener presentes los siguientes criterios:

A. Desde el punto de vista de la Empresa:

- Disponibilidad del lenguaje en su sistema computacional
- Costo de instalación y mantención del lenguaje
- Número de estudios de simulación que podrían hacerse (para determinar la razón beneficio/costos).
- Tipos de sistemas que se simularan
- Calidad de la documentación del lenguaje (textos y manuales de usuario)
- Facilidad de aprendizaje
- Requerimientos de hardware.
- Eficiencia respecto al tiempo computacional.
- Flexibilidad y potencialidad
- Tiempo, costo y calidad del nivel de capacitación necesario.

B. Desde el punto de vista del analista varios de los criterios mencionados anteriormente son relevantes, pero además son importantes los siguientes factores:

- Disponibilidad del lenguaje.
- Naturaleza del problema a resolver.
- Tiempo disponible para el estudio de simulación y esfuerzo de programación requerido por el lenguaje.
- portabilidad del modelo.
- Capacidad del lenguaje para comunicar la naturaleza del modelo a ejecutivos de nivel estratégico de las empresas, quienes lo desconocen.
- Ayudas que provea el lenguaje para el analista: debugger, generación de gráficos, animación, mensajes de error, etc.

2.- PASOS BASICOS PARA EL LOGRO DE UNA SIMULACIÓN CON MODELOS DISCRETOS.

En forma genérica, se distinguen los siguientes pasos para concretar un estudio que incluye simulación:

- Determinar el tipo de problema a resolver (continuo, discreto). En algunos casos será posible discretizar sistemas continuos, lo que permitirá utilizar lenguajes para modelar sistemas discretos.
- Si no se posee, obtener el software adecuado al tipo de problema y el hardware necesario para ejecutarlo. En el caso de los sistemas discretos, se puede usar GPSS/H y un computador personal, con las características que se indicarán más adelante.
- Si no se tiene, lograr un nivel de capacitación aceptable para los analistas (en el caso de GPSS/H, se puede llegar a un nivel básico con 35 HH de capacitación y a un nivel avanzado con 35 HH adicionales).
- Determinar las reglas del proceso del sistema a modelar.
- Si corresponde, determinar las distribuciones aleatorias involucradas en los procesos, que servirán de entrada al modelo simulado. Dependiendo del lenguaje de simulación a emplear, se deberá hacer ajuste de distribuciones; en el caso particular de GPSS/H, si no se pueden hacer ajustes, se pueden emplear los mismos datos definiendo la distribución empírica, mediante una función.
- Determinar las reglas de verificación del modelo (se refiere a si las reglas de proceso encontradas anteriormente están computacionalmente bien representadas).
- Determinar reglas de validación (se refiere a si las reglas de proceso determinadas anterior-

mente representan el comportamiento del sistema a simular).

- Implementar el o los modelos necesarios.
- Verificar el o los modelos.
- Diseñar experimentos.
- Realizar el análisis de los resultados (una sola corrida del modelo simulado no refleja en buen grado la aleatoriedad de las variables aleatorias resultantes, por lo que hay que aplicar métodos especiales para obtener los estadígrafos de éstas).
- Implementar los resultados (se refiere a la toma de decisiones que hará el nivel estratégico de la empresa, utilizando los resultados entregados por la simulación).

3.- GPSS/H: UNA ALTERNATIVA PARA LA IMPLEMENTACION.

Nos referimos a GPSS/H, el lenguaje especializado más utilizado en estos momentos en Estados Unidos y, que recientemente está disponible para computadores personales, para configuraciones 8086/88, 286 y 386. Por contar con un debugger interactivo, hace posible la verificación del buen funcionamiento de los modelos representados. El lenguaje suministra también la posibilidad de emitir los resultados en forma de gráficos de barra. En estos momentos está saliendo al mercado un software de animación, llamado PROOF, de los mismos autores de GPSS/H, que permite hacer una animación "post-ejecución" del modelo simulado, lo que posibilita simular en un computador y animar en otro. Esta característica es útil puesto que la animación no se ve sobrecargada con los cálculos propios de la simulación. Para la ejecución del software de animación se requiere configuraciones 286 (con coprocesador) o superiores.

GPSS/H es un compilador (compila y ejecuta el modelo en memoria, entregando los resultados finales), posee una filosofía de modelamiento lineal, es decir, no se usan redes. Para cada proceso del sistema se elabora lo que en el lenguaje se denomina segmento, aunque estos hagan referencia a los mismos recursos (provee la noción de simultaneidad). Los segmentos se modelan gráficamente mediante diagramas de bloques, los que equivalen uno a uno a la líneas de código resultante. Además, GPSS/H provee un conjunto de instrucciones al compilador, que permiten controlar la ejecución del modelo. La potencialidad anterior es muy importante ya que permite realizar varias réplicas para el mismo modelo simulado, modificar dinámicamente los modelos (según las necesidades), controlar situaciones especiales, generar gráficos de salida, construir formatos especiales de reportes, hacer lectura y escritura a archivos de datos y a pantalla/teclado,

construir e incorporar macros, controlar el uso de la memoria, etc.

Desde el punto de vista estadístico, GPSS/H provee infinitos generadores de números aleatorios de distribución uniforme, mediante el algoritmo multiplicativo congruente de Lehmer y para cada uno de ellos hace pruebas chi cuadrado, para verificar la bondad de la muestra tomada; se tiene la posibilidad de utilizar los números antitéticos obtenidos de estos generadores (es decir, retornar el complemento a uno), además tiene incorporadas las distribuciones exponencial, normal y triangular. Permite construir funciones de distribución empíricas, en el caso de no haber podido ajustar una.

4.- VISION DE LA REALIDAD DESDE GPSS/H.

En GPSS/H el mundo real se modela mediante dos grandes conjuntos: las transacciones y los procesos.

4.1 Las Transacciones

Las transacciones circulan a través de los procesos, por una ruta de una sola vía, a medida que transcurre la simulación. El paso de una transacción por un componente elemental (bloque) de un proceso implica la ejecución de ciertas acciones asociadas a éste. Debido a que las transacciones son las unidades de tráfico del sistema, estas representan lo mismo en el modelo, por ejemplo, pueden simbolizar las llamadas telefónicas que fluyen a través de los componentes de una central de conmutación telefónica (el sistema a modelar).

Al empezar una simulación, no existen transacciones en el modelo, éstas se crean a intervalos de tiempo según la lógica del modelo y, por lo tanto, el número de ellas varía durante el transcurso de la misma. A pesar de haber un gran número de transacciones en el modelo, sólo una se mueve en un instante determinado, pero en un mismo instante del reloj simulado pueden ser muchas las que se procesen.

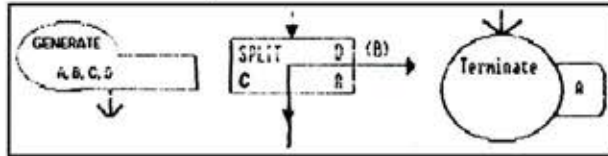
Externamente, las transacciones residen en los bloques y tienen dos atributos asociados: bloque actual y próximo bloque a intentar. El usuario puede definir además atributos adicionales, que se llaman parámetros, los que pueden ser de varios tipos (enteros de un byte, 2 bytes, 4 bytes y punto flotante).

4.2 Los Procesos.

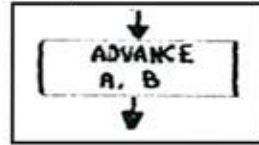
El modelo consta de uno o más procesos o segmentos, los que están conformados por bloques o su equivalente en sentencias; a estas últimas se les adicionan las instrucciones de control, constituyendo así el programa fuente que posteriormente será compilado y ejecutado. En GPSS/H existen

más de sesenta tipos de bloques, cada uno de ellos con una forma característica:

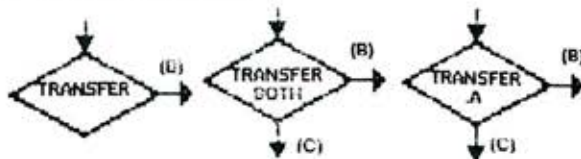
a.- Generación y Destrucción de Transacciones.



b.- Transcurso de Tiempo.



c.- Cambio de Ruta.



5.- Otras cualidades de GPSS/H.

5.1 Alta Velocidad de Ejecución.

Debido a que GPSS/H es un compilador, es muy superior en velocidad de ejecución a otros lenguajes de simulación y a otras versiones de GPSS que son intérpretes. Al compararlo con otras versiones de GPSS se han obtenido proporciones tan altas como 30:1, aunque normalmente es 5 veces más rápido. Comparado con otros lenguajes de simulación, también es superior, con una proporción promedio de 4:1.

5.2 Sintaxis más flexible

El lenguaje ofrece mejor flexibilidad en la especificación de los operandos de las sentencias. En versiones anteriores, para usar expresiones se requería una variable GPSS para usarla en los operandos.

5.3 Ejecución no Secuencial de las Instrucciones de Control

Se proveen instrucciones IF, ELSEIF, ELSE y ENDIF, que permiten la ejecución condicional de ciertos grupos de instrucciones de control. De igual modo se provee GOTO y DO, ENDO, que en conjunto con las anteriores permite implementar diseños experimentales muy complejos, que serían imposibles de lograr con instrucciones de control que sólo funcionan en un esquema netamente secuencial.

5.4 Fácil Diseño de la Salida.

GPSS/H provee la capacidad de diseñar en forma fácil la salida a través de la sentencia PICTURE, similar al PRINT de SIMSCRIPT 2.5 en la cual se puede incluir una o más líneas de texto literal y campos de sustitución, los cuales son reemplazados en forma posicional en la instrucción que usa un

PICTURE particular. También existe el bloque BPUTPIC con esta misma potencialidad. Lo anterior significa que además de poder utilizarlo como instrucción de control, se puede incluir como componente de los procesos que representan a un sistema.

5.5 Formato Libre para Lectura de Datos (archivo/teclado)

Mediante la sentencia GETLIST se pueden leer datos mediante un número arbitrario de archivos y/o dispositivos conectados apropiadamente a GPSS/H por medio de comandos del sistema operativo (como es el caso del teclado). Los datos pueden ser enteros, reales o caracteres, los que pueden estar entremezclados y separados por espacios en blanco. Si una palabra incluye un espacio, toda ella debe ir entre apóstrofes.

5.6 Depurador Interactivo (Debugger).

Tradicionalmente la depuración de un modelo GPSS se efectuaba en forma BATCH, o sea, al terminar la ejecución con algún error o, con resultados inconsecuentes, el analista podía, si tenía suerte, encontrar la causa.

Con el depurador interactivo, el analista puede decidir en forma dinámica qué datos de salida necesita desplegar en pantalla mientras el programa está ejecutándose, y por lo tanto, existe una mayor flexibilidad en la selección de ellos. A medida que la ejecución se acerca al momento de ocurrir un error, se puede requerir una mayor cantidad de datos. Si es necesario, el modelo se puede ejecutar bloque a bloque, observando los efectos producidos con el propósito de depurarlo.

Las capacidades provistas por el depurado interactivo son:

- Los comandos RUN, CONTINUE, STOP y QUIT permiten un control general de la ejecución.
- Los comandos QUIT y STOP (sinónimos) permite interrumpir definitivamente un modelo antes de su término normal.
- Los comandos DISPLAY y PRINT permiten interrogar interactivamente sobre el estado de un modelo.
- El comando STEP permite ejecutar el modelo paso a paso (un bloque o más a la vez).
- Los comandos BREAK y UNBREAK permiten poner puntos de interrupción temporal en cualquier bloque del modelo. Cuando una transacción llega a uno de ellos, se despliega un mensaje en el terminal, suspendiéndose la ejecución y el usuario puede emitir otros comandos del depurador interactivo.
- Mediante TRAP se permite tomar (o retomar) el control cuando suceda algún evento particular como por ejemplo si una transacción trata de moverse, cuando se detiene o cuando el reloj de simulación alcanza o excede un cierto valor. Estas condiciones se habilitan con TRAP y se deshabilitan con UNTRAP.

- Los comandos CHECKPOINT y RESTORE permiten salvar y posteriormente restablecer el estado del modelo. Lo anterior significa que el usuario que está depurando un modelo puede ejecutarlo hasta un cierto valor del reloj y "retroceder" el estado del modelo a un tiempo anterior. De igual modo, puede avanzar desde tal punto u otro.

6. PROOF: Un animador de propósito General

6.1 Introducción.

La manera de presentar los resultados en un proyecto de simulación es muy importante para su posterior aprobación y en esto la animación juega un papel muy importante; durante todas las fases del proyecto sirve como una comunicación con los clientes y los ejecutivos del nivel estratégico. Es importante tanto en el diseño como en la presentación. Antiguamente algún cambio en la animación requería de mucho tiempo de implementación, lo que involucraba que el desarrollo debía detenerse por todo este período.

PROOF es un software de animación para computadores personales (IBM compatibles) que consta de:

- Capacidades simples para dibujar, similares al CAD, para crear escenarios y definir formas y caminos.
- Un conjunto de comandos de animación sencillos y la capacidad incluida de procesar listas de comandos generados por otros programas (que reside en el archivo de Trazado del Proceso).
- Un conjunto de comandos de presentación fáciles y la capacidad incluida de procesar listas de estos comandos, generadas en forma manual (que reside en el archivo Libro de Presentación).

Se dice que PROOF es de propósito general por dos razones:

- Por su independencia de cualquier lenguaje de simulación u otro de propósito general y su conjunto abierto de comandos que permite y motiva el uso de gran variedad de software.
- Por la flexibilidad del conjunto de comandos, que permite la animación de una gran variedad de sistemas, de distintas maneras.

PROOF es un paquete de animación que se usa después de procesar (la simulación) y requiere la existencia de dos archivos: el archivo del escenario y el archivo de trazado. Por lo tanto, el modelo de simulación debe producir un archivo de trazado que maneje la animación, siendo relevante el tamaño del

modelo de simulación. El modelo puede ejecutarse en un computador grande o estación de trabajo y el archivo de trazado resultante puede cargarse en un computador personal.

La animación post-procesamiento tiene otros beneficios:

- Las animaciones pueden verse a altas velocidades manteniendo un buen nivel de continuidad del movimiento.
- La capacidad de adelantarse rápidamente a un tiempo simulado determinado, que además permite eliminar los tiempos de espera para lograr ciertas condiciones estacionarias.
- Puede ejecutarse en "modo demostración", o sea, crear fotos estáticas y entremezclarlas con segmentos de animación en pantalla.

PROOF tiene una arquitectura abierta, lo que junto con las características de post-procesador, lo hacen compatible con muchos lenguajes de simulación y generales:

Basic
C
FORTRAN
GPSS/H
GPSS/PC (requiere FORTRAN)
PASCAL
INSIGHT
SIMAN 3.5 (requiere FORTRAN)
SIMAN IV
SIMSCRIPT II.5
SLAM II (requiere FORTRAN)

Requiere FORTRAN significa que esta herramienta carece de capacidad para escribir archivos de salida formateados por el usuario y, por lo tanto, debe llamar a rutinas de otros lenguajes (en este caso FORTRAN).

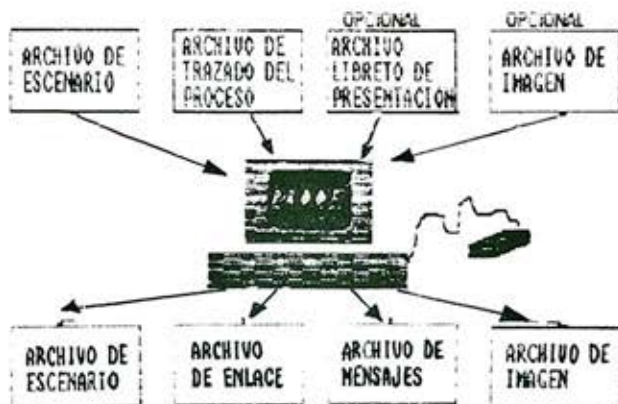
Para efectuar la animación no es necesario un software de simulación específico. Para producir el archivo de trazado del proceso, el software utilizado debe tener entrada/salida de archivos capaz de generar código ASCII.

Aunque PROOF no tiene todas las cualidades de un programa CAD, tiene un modo de dibujo similar a este, controlado por mouse.

Se pueden crear definiciones de escenarios y objetos mediante el uso de primitivas simples y complejas a través de menús verticales de barra. También se puede crear el archivo de escenario leyendo otros que existan, generados por CAD. Además se provee la posibilidad de generar sonidos durante la animación para fijar la atención sobre ciertos eventos especiales.

La figura siguiente esquematiza los archivos de entrada y de salida del PROOF.

Figura 2 Archivos usados por PROOF



A continuación se dará alguna explicación de aquellos archivos que no hayan sido mencionados anteriormente:

- Archivo de Imagen: Al utilizarse como entrada, contiene fotos estáticas para ser usadas solamente en el modo de presentación, cuya fuente puede ser archivos PROOF u otro software de dibujo que genere archivos con formato pcx. También es posible utilizarlo como salida, pues al estar corriendo PROOF se puede guardar la pantalla actual en el archivo para uso posterior.
- Archivo de escenario. Cuando se utiliza como salida, se refiere a que PROOF genera un archivo de escenario con aquel gráfico que se esté haciendo en el modo de dibujo; es un archivo de salida en el modo de dibujo y es entrada para el modo de ejecución de animaciones.
- Archivo de Enlace. A partir del modo de dibujo o el modo de enlace PROOF puede producir un "archivo de enlace", que no será usado posteriormente por éste. El propósito es ayudar a unir PROOF con el modelo de simulación. Entre otra información, este archivo contiene la distancia total lineal de cada camino.
- Archivo de Mensajes. A veces PROOF despliega en la pantalla ciertas alertas como advertencias, alertas de estado o mensajes de error. La información adicional a los mensajes mostrados en pantalla se registran en este archivo.

7. APLICACION DE GPSS/H A LA INDUSTRIA METALURGICA

Cuando se habla de simular un proceso metalúrgico, generalmente lo asociamos con una alternativa de difícil acceso y de elevado costo debido a la gran cantidad horas-hombre de personal altamente calificado que se utilizan en este tipo de desarrollos, los cuales son usualmente llevados a cabo utilizando lenguajes de propósito general que no están directamente orientados a la simulación.

Sin embargo, la potenciabilidad, versatilidad y

flexibilidad ofrecida por GPSS/H hacen que los recursos antes mencionados sean disminuidos como promedio en un 80%.

Es importante tener presente que la simulación adecuada de un proceso permite efectuar cambios en las políticas y prioridades de operación, las que se traducirán en un mejor aprovechamiento de los recursos del proceso y obviamente en la optimización del mismo.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- J. Banks, J. Carson y J. Sy "Getting Started with GPSS/H" Wolverine Software Corp. 1989.
- 2.- J. Henrirsen y R. Crain "GPSS/H Reference Manual" Wolvering Software Corp. 1989
- 3.- J. Schriber "An Introduction to Simulation Using GPSS/H" J. Wiley and Sons, Inc., 1991
- 4.- Woverin Software Corp. "Using Proof Animation", 1992.

ALGUNOS ASPECTOS SOBRE BIOINGENIERIA

Prof. Mario Foix León
Ex-Académ. J. C. Depto. Ing. Mecánica USACH.
Actualmente Gerente General
Osteomed Chile Ltda.



INTRODUCCION

Desde tiempos antiguos la Medicina ha estado en estrecha relación con los metales; primero como instrumentos de cirugía y más tarde como tutores externos para ayudar a la reducción en fracturas y luego como implantes, alojados dentro del cuerpo.

En este artículo se desarrollará el tema sobre los implantes metálicos para cirugía ósea, puesto que éstos son los que presentan un mayor desafío a la metalurgia, debido a que tienen que cumplir su cometido en un medio totalmente hostil; sometidos a corrosión química, corrosión galvánica y una gran exigencia mecánica, para competir en parte con la resistencia del sistema óseo que es una pieza viva, autorregenerable y de gran resistencia a las microdeformaciones. Por esto, un implante deberá diseñarse de tal manera que sea biológicamente compatible con el medio interno donde será alojado.

1.- MATERIALES.

Los materiales utilizados para implantes generalmente son, en un gran porcentaje, acero inoxidable y en menor escala se utiliza una super aleación base titanio; trataremos solamente los primeros.

1.1 Composición química en % del acero inoxidable:

C 0,03 max; Si 1,00 max; Mn 2,00 max; S 0,015 max; P 0,025 max; Cr 16-19; Ni 10-16; Mo 2-3,5 y Fe el resto.

1.2 Propiedades mecánicas:

Resistencia a la tracción: 860 N/mm²

Límite de fluencia: 12 N/mm²

Tamaño de grano: delimitado

Estructura: totalmente austenítica

Contenido de inclusiones: especificado.

La delimitación de la composición química tiene por objeto obtener una máxima resistencia a la corrosión; Especial atención deberá ponerse en el contenido de cobre como impureza, el cual deberá ser bajísimo, evitando la utilización de chatarra en la producción de la aleación y la acumulación de mayores concentraciones de otros elementos no deseados.

INCLUSIONES NO METÁLICAS

Es indispensable la pureza de la estructura, asegurando un bajo contenido de sulfuros y óxidos; esto se consigue mediante los procesos de refusión bajo electro escoria; las inclusiones de óxidos no deben sobrepasar el N° 1 1/2 de la designación A.S.T.M. E-45-63, método D. y las inclusiones de sulfuros de Mn. no deben sobrepasar el N°1 de la norma antes citada.

Durante el proceso de producción del acero los óxidos y sulfuros de Mn aparecen como inclusiones longitudinalmente orientados. Investigaciones con microsonda y experimentos de corrosión (in vitro e in vivo en ratas, con implantes en huesos y múscu-

los) indican que estas inclusiones no metálicas provocan la corrosión galvánica.

Las figuras 1a y 1b, muestran una comparación entre un acero austenítico purificado y otro no purificado.

2.- UNIFORMIDAD DEL MATERIAL

La estrecha tolerancia exigida en la composición química de la aleación, aseguran una máxima semejanza de todos los implantes usados en una osteosíntesis, esto minimiza la corrosión galvánica.

Esta corrosión puede producirse por el uso simultáneo de aceros de diferente composición, aunque estén dentro de las normas especificadas, por ejemplo, materiales en los máximos y mínimos de tolerancia permitida, presentan diferentes potenciales electromotriz; si tales implantes son usados en contacto directo, es previsible una mayor velocidad de corrosión en el de menor potencial, o en el material de mayor contenido de inclusiones.

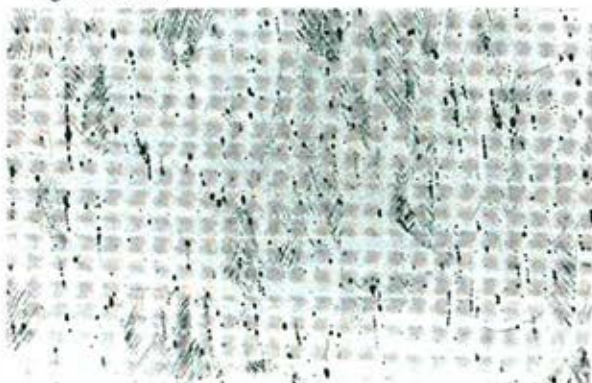
Se presentan dificultades mayores cuando se usan materiales de diferente composición química. Fig. 2.

Una placa fue fijada con tornillos de acero inoxidable tipo AISI 304, que no corresponde a la norma de aceros para implantes, por no contener molibdeno, en la cabeza del tornillo en contacto con la placa, se desarrolló una intensa corrosión galvánica, produciendo canales profundos a través de toda la cabeza del tornillo.

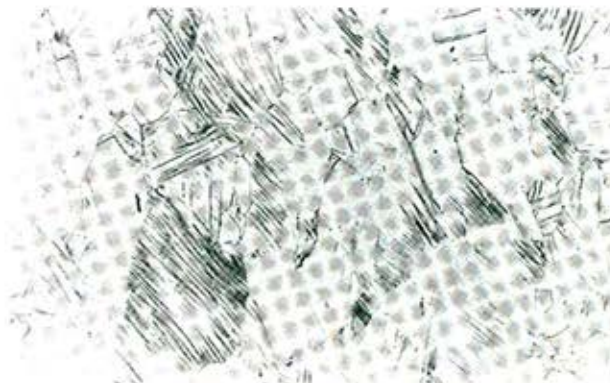
3.- HOMOGENEIDAD.

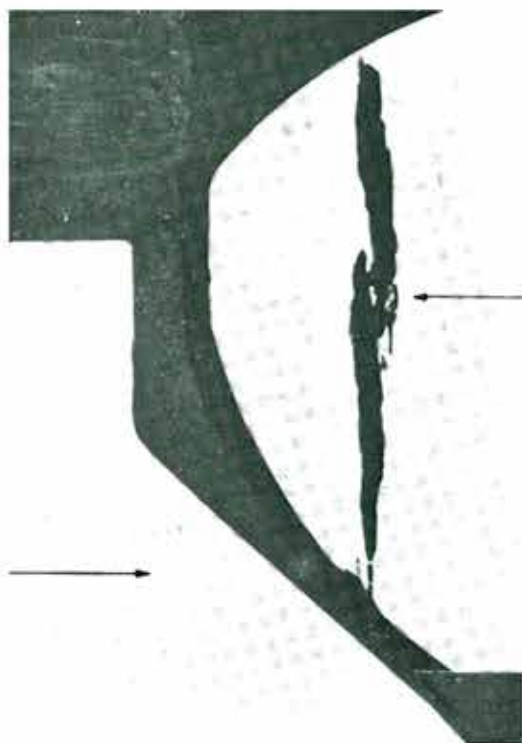
El acero inoxidable para implantes es sugestivamente puro y libre de otras fases como ferrita, carburos o eventualmente de la fase delta.

Acero inoxidable ANSI 316 L no refundido.
(Se pueden observar las inclusiones longitudinales).
Fig. 1a 145x

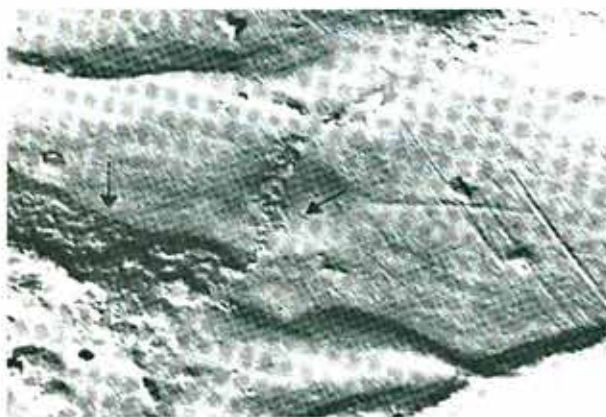


Acero inoxidable 316 L refundido, utilizado en implantes.
Fig. 1b 145x





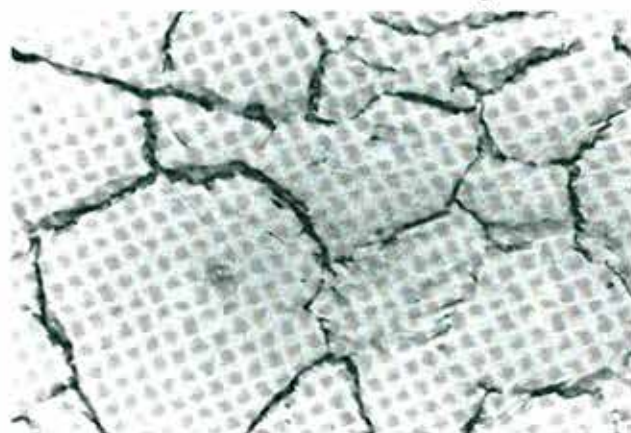
Ejemplo de mezcla de materiales:



Superficie de implante con corrosión general.
Fig. 3a 210x



Precipitaciones intergranulares de carburo que provocan corrosión.
Fig. 3b 1020x



Precipitaciones intergranulares de carburo observadas con el microscopio electrónico.
fig. 3c 5100x

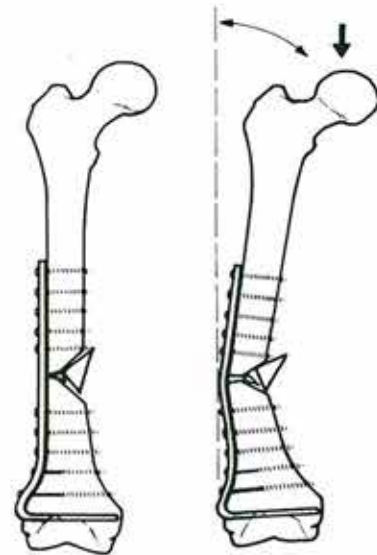
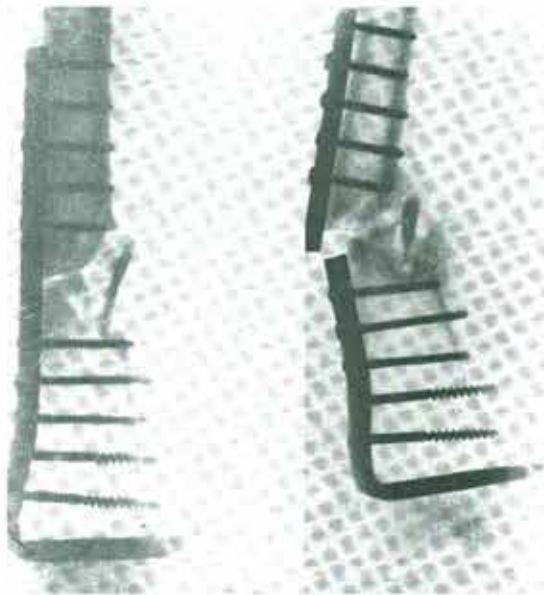
Esta homogeneidad depende del tratamiento térmico y de la composición química. Las heterogeneidades no son deseables, debido al peligro de corrosión y a su influencia en las características mecánicas. La fig. 3 a, 3 b y 3 c indican ejemplos de precipitaciones intergranulares de carburos debido a un tratamiento térmico no apropiado y por consiguiente, corrosión a lo largo de los límites de grano.

4.- ROTURA DE IMPLANTES

Los implantes no son prótesis, se diseñan de tal

manera que no sean demasiado rígidos, ni demasiado blandos, ni emplacen demasiado a los tejidos; actúan como puentes de estabilización para mantener la reducción, es decir, la placa fija la reducción de la fractura por compresión interfractamentaria, cuando se ha indicado que es posible; las fuerzas deberán repartirse en toda la sección del hueso y de la placa; si esto no se cumple y el implante se somete por un período prolongado a una carga de flexión, puede producirse la rotura de éste, por fatiga. las imágenes de rayos -X N°4a y 4b y el croquis 4c muestran un fémur con un implante roto por falta de apoyo en el medio.

Fractura de implante, en fémur, por falta de apoyo en el medio. Con la carga se produce un esfuerzo continuo en la placa sometida a flexión, que conduce a una rotura por fatiga.
Fig. 4a y 4b



Croquis Fig. 4c
Dibujo esquemático que muestra como una placa incurre en una tensión por flexión, debido a la fijación interna inestable.

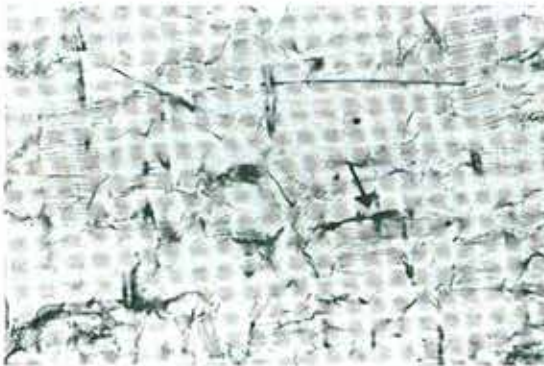


Fig. 5a 150x
Superficie de la placa próxima al sitio de rotura con las líneas de deformación originadas por doblado cíclico. La flecha muestra una fisura producida en un escalón de deslizamiento.

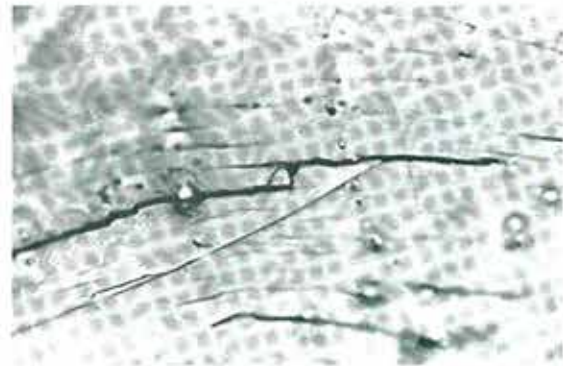


Fig. 5b 850x
Incremento de líneas de deformación abiertas.

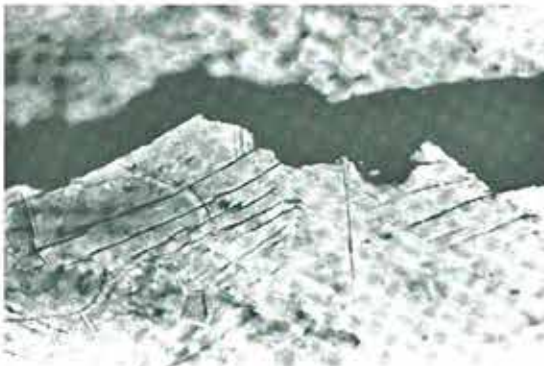


Fig. 5c 850x
Las líneas de deformación abiertas formando una fisura.

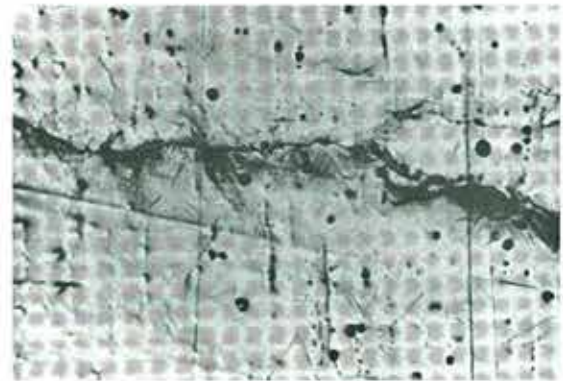


fig. 5d 190x
Grieta principal producida por fatiga en la superficie de la placa.

Las figuras 5a, 5b, 5c y 5d, muestran micrografías del desarrollo de fisuras por fatiga observadas en diferentes superficies de implantes. Cuando las fuerzas de flexión exceden un cierto límite, aparecen en la superficie del implante líneas de deformación (Fig. 5a) bajo cargas continuas; en distintos granos se originan fisuras iniciales (Fig. 5b) que forman una grieta (Fig. 5c), éstas grietas se desarrollan poco a poco en la superficie (Fig. 5d) y se propagan a velocidad creciente a través del implante.

La Fig. 6 indica la típica apariencia de una fisura por fatiga.

La figura 7 nos muestra una fisura ramificada, producida por corrosión bajo tensión.

5.- EJEMPLOS DE UTILIZACION DE IMPLANTES

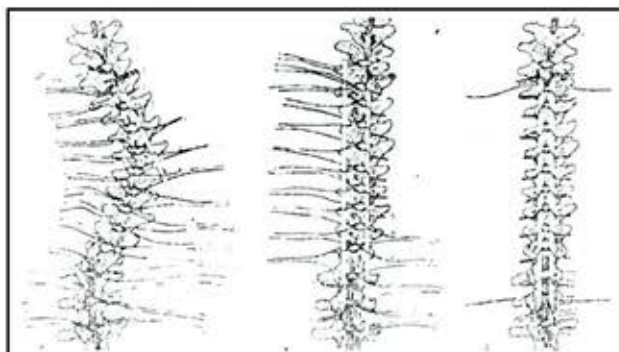


Figura 8

A. Barra inicial y alambres 2, 3 y 1 enroscados.
B. Barra inicial en palanca a la espina y alambres secuencialmente enroscados.
Segunda barra colocada antes de la barra inicial completa y asegurada.
C. Ambas barras aseguradas, alambres atados por ambos extremos.

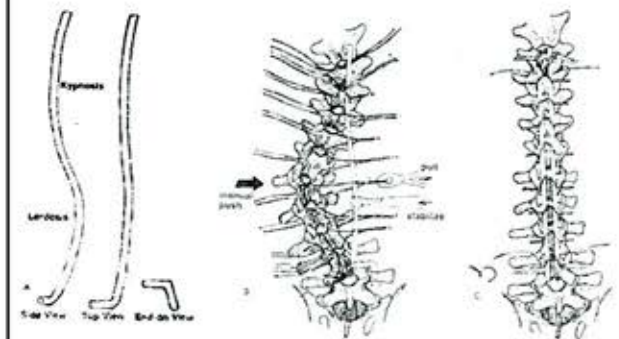
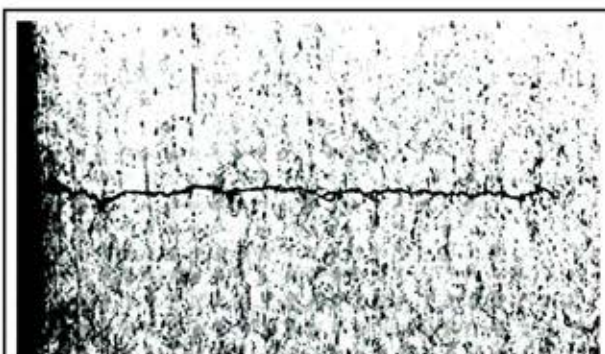


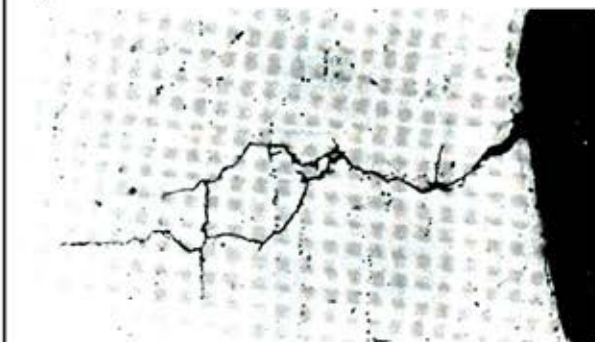
Figura 9

A. Forma en que deberá doblarse la barra.
B. Barra inicial colocada con alambre 1 y 8 empujados para estabilizar la barra, enroscados usados para tirar alambre.
C. Alambre temporal sobre una barra inicial removida; 2ª barra colocada y ambas aseguradas y listas para una doblada final de alambres.

La figura 8 muestra una secuencia de la técnica de corrección de la deformación de columna, utilizando barras y alambres.



Sección longitudinal de una placa con una fisura típica por fatiga perpendicular a la superficie de la placa.
Fig. 6 110x



Típica fisura ramificada producida por corrosión bajo tensiones. Fig. 7.

La figura 9 muestra unas barras en L (Barras de Luque) y como deben adaptarse a la forma de la columna y la técnica de su implantación.

La figura 10a, 10b y 10c muestra dos tipos de elongadores espinales. La fig. 10a muestra un elongador de Harrington que es el modelo tradicional en que toda la corrección debe hacerse en un solo acto quirúrgico, con todas las implicancias conocidas por el estiramiento brusco de la médula espinal, entre otros, mientras que en la figura 10c y 10d se muestra un elongador progresivo, diseñado por el autor y el médico José Grass Pedrals que en el acto quirúrgico solo se implanta, para luego cicatrizada la herida operatoria se comienza la distracción progresiva diariamente, sin peligro de daños neurológicos en el paciente, que permanece despierto mientras se elonga.

RESULTADO: Se efectuó una corrección diaria de 1mm. hasta alcanzar los 30 mm. quedando con una escoliosis de 45° y una xifosis de 35°.

CONCLUSIONES

Es apasionante trabajar en la restauración del cuerpo humano y la ingeniería tiene mucho que hacer y decir en este campo. Nuestro país está recién incorporando tecnologías propias en cuanto al diseño y fabricación de instrumentos de cirugía e implantes, y ésta ha sido una tarea larga y compleja, que ha requerido del concurso de muchos profesio-

nales de distintas especialidades tanto de ingeniería como de medicina; aún falta mucho por hacer. Los metalurgistas tienen un gran desafío en la obtención de aleaciones eficientes y económicas, para la fabricación del instrumental e implantes antes mencionados.

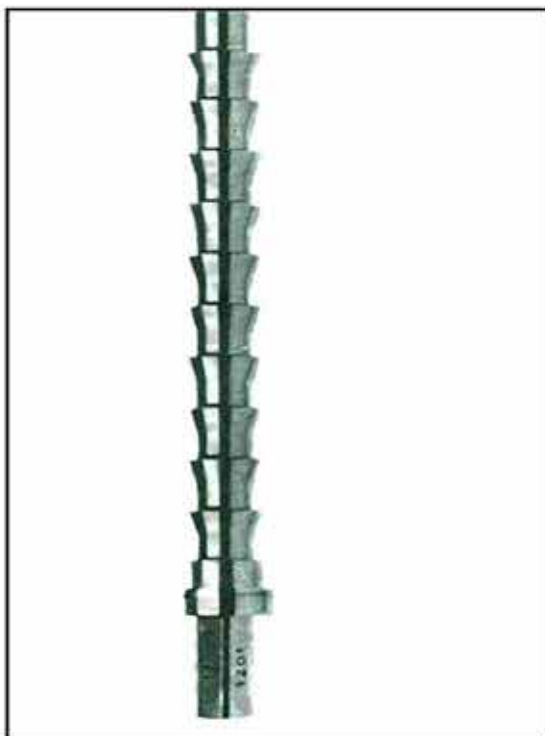


Figura 10c
Despiece del elongador vertebral progresivo diseñado por M. Foix y J. Grass.

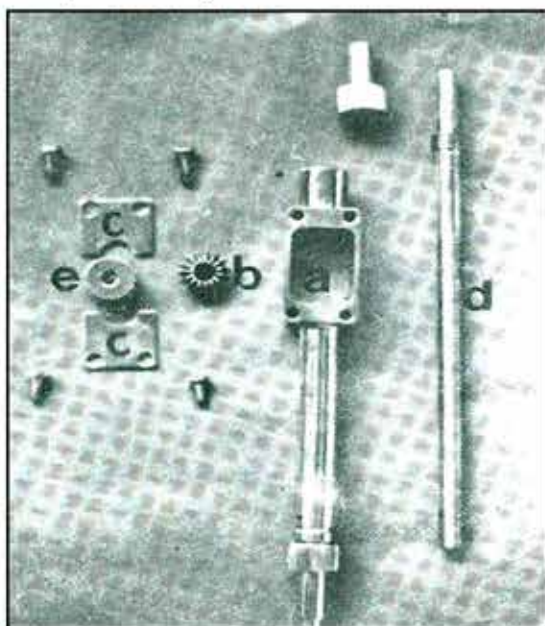
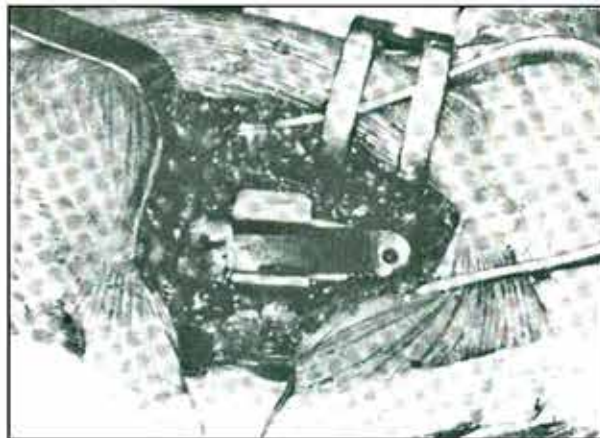
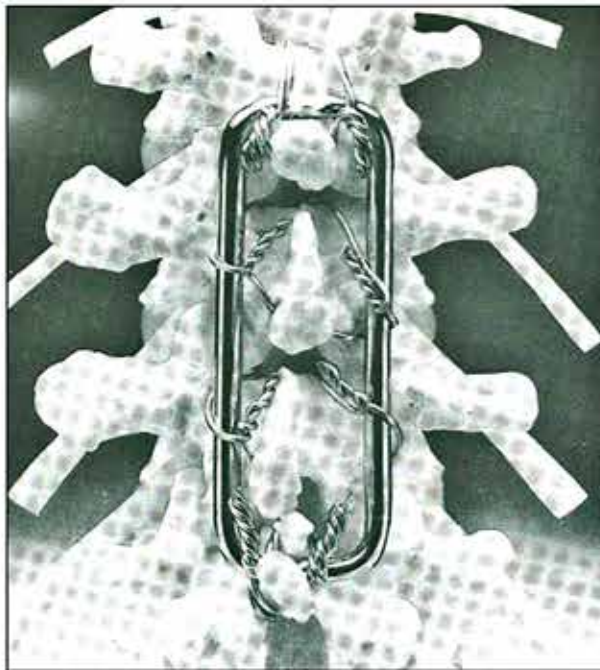


Figura 10b
Barra de Harrington implantada en una columna.

Figura 10a
Barra de Harrington tradicional.

Figura 10d
Implantación del distractor vertebral progresivo en una paciente de 13 años, con una escoliosis torácica derecha grave, con giba costal de 7 cm. Valor angular de la escoliosis 118° asociada a una xifosis de 105° a nivel torácico.



Aparato conductor de clavos Ender diseñado por M. Foix y J. Grass, implantado en un fémur.
La fotografía corresponde al acto quirúrgico.

Barra cuadra de Luque, colocada en la espina con alambre de cerclaje.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Baumer Ortopedia S.A. International División - Sao Paulo - SP-Brasil.
- 2.- Prof. M. Foix; Drs. J. Grass, I. Dockendorff, V. Soto
Distracción progresiva intermitente.
Acta ortopédica Latinoamericana Non XIV - 1987.
- 3.- Prof. m. Foix; Drs. J. Grass y C. Thibault
Prevención de las complicaciones mecánicas del enclavado de Ender. Revista chilena de ortopedia y Traumatología - Vol. XXV - 1984.
- 4.- Ben Allen and Ron Ferguson.
The Galveston Technique for L Rod Instrumentation of the Scoliotic Spine. University of Texas Medical Branch, Galveston, Texas - 1982.
- 5.- Ortrum Pohler, Fritz Strauman
Características de los implantes de Acero Inoxidable.
- 6.- Spinal product Sostems
Zimmer Waesaw. Indiana U.S.A.
- 7.- S. Steinemann
Résistance á la corrosion par pigüres de l'acier inoxydable autenitico Cr - Ni - Mo élaboré normalement á haute fréquence et refundu sous laitier électro-conducteur.
Revue de Métallurgie.

“ASOFUNCH” ASOCIACION DE FUNDIDORES DE CHILE, AG.

*(Fundada el 26 de Noviembre de 1989 y
con Personería jurídica de 4 de Septiembre
de 1992 en Diario Oficial 34.359).*

Persona Jurídica de Derecho Privado, apolítica y sin fines de lucro e independiente de cualquier posición religiosa, dedicada a la realización, experimentación y divulgación de trabajos relacionados con el Avance Científico y Tecnológico, fomentando todo aquello relacionado con las actividades de la INDUSTRIA DE FUNDICION, a fin de elevar la tecnología y la productividad de todos sus asociados.

Es así cómo esta idea simple y sencilla ha cristalizado en esta rama de la Metalurgia cual una nueva aleación en el mundo de los metales, fundida al calor de caros y afines ideales, con la fuerza que imprime el calor de necesidades imperiosas y con un carácter netamente circunscrito a esta rama. Ha nacido así una nueva organización: la “ASOCIACION DE FUNDIDORES DE CHILE-ASOFUNCH”, entidad que agrupará en su seno a todos los ingenieros Civiles y de Ejecución Metalurgistas, Técnicos Metalurgistas, Prácticos, Especializados y todos aquellas personas que, por su condición, preparación, experiencia, estudios especiales, etc., laboren en el campo metalúrgico.

La Asociación de Fundidores de Chile-ASOFUNCH, nace así, con la esperanza y el optimismo de todas las cosas grandes que están llamadas a jugar un importante papel en el destino industrial y económico de nuestra Patria.

Los Ingenieros, Técnicos y Prácticos Metalurgistas que hasta hoy han laborado silenciosamente en todo el país, dejan este silencio y las preocupaciones de su trabajo y ferreamente unidos presentan a la colectividad toda su Asociación de Fundidores de Chile-ASOFUNCH, que ha de ser el baluarte donde se cobijen y fructifiquen las aspiraciones más grandes, las superaciones técnicas, sociales y económicas de todos sus asociados.

Ahora bien, si el grado de civilización de un pueblo lo determina el mayor o menor consumo de acero, en un período dado de su historia, nada es más grande y digno que luchar porque los hombres que tienen en sus manos la responsabilidad de la preparación y calidad de estos aceros, estén en una constante superación técnica que les permita actuar eficientemente en el adelanto industrial y científico en que vive el mundo.

Todos aquellos hombres de una u otra manera son actores del que hacer metalúrgico nacional, están conscientes del espíritu de superación que debe animar a todo profesional que siente la responsabilidad propia de su Especialidad y están seguros de que su Asociación será el centro de difusión técnica que les permitirá su propia superación.

Una escueta presentación de las iniciativas, objetivos, proyecciones y ventajas que se han considerado para dar a luz a esta nueva Asociación son las siguientes:

OBJETIVOS:

- 1.- La promoción racionalización, desarrollo y protección de las actividades de la Industria de la Fundición de Metales y de aquellas que sean afines o conexas;
- 2.- Reunir a los profesionales interesados en el conocimiento e investigación sobre la Fundición y las Tecnologías afines;
- 3.- Divulgar los conocimientos científicos y tecnológicos que se vayan alcanzando en el área de la Fundición tanto en el país como en el extranjero con el fin de propender a un permanente perfeccionamiento de sus miembros y por ende, un mejoramiento de la calidad de los productos de las empresas de Fundición.
- 4.- Fomentar y apoyar la investigación y el estudio de los problemas a nivel teórico y experimental, correspondiente al campo de la fundición y de aquellas áreas que le sean afines o conexas;
- 5.- Asesorar a los organismos públicos y privados que se lo soliciten en materias relativas a la Industria de la Fundición;
- 6.- Crear y fomentar vínculos científicos, tecnológicos, culturales y sociales con las Asociaciones similares del país y del extranjero;
- 7.- Estimular, efectuar y mantener permanentes vínculos de amistad entre sus asociados y los estudiantes de la profesión, como también con los industriales del ramo;
- 8.- Contribuir a optimizar la productividad y el mejoramiento de la calidad de los productos de las empresas Fundidoras;
- 9.- Desarrollar estudios e investigación en relación a los mercados de la Industria de la Fundición, tanto nacional como internacional;
- 10.- Promover y desarrollar Programas de Capacitación;
- 11.- Colaborar en la Normalización Técnica de los Productos e Insumos de la Industria de la Fundición;
- 12.- Fomentar la participación de los Asociados en Congresos y Reuniones Profesionales, tanto Nacionales como Internacionales; etc.

PROYECCIONES:

- 1.- Edición de Revista Técnica de la especialidad;
- 2.- Edición de folletos y/o artículos técnicos de la especialidad, ya sea de experiencia de los Asociados o traducidos por ser de interés general.
- 3.- Formación de una Biblioteca Técnica de la especialidad;
- 4.- Edición de las mejores memorias de los titulados como Ingenieros Civiles o de Ejecución Metalurgistas;
- 5.- Auspiciar Conferencias Técnicas y documentales para la especialidad e igualmente conseguir Películas Técnicas de interés para los Asociados y promover su exhibición;

- 6.- Intercambio de ideas entre los asociados y solución de problemas Técnicos presentados por cualquiera de ellos, o bien, por alguna industria metalúrgica;
- 7.- Conseguir Becas para Egresados y estudiantes para la formación de un cuerpo técnico netamente especializado en la distintas fases que conforman esta Rama Industrial;
- 8.- Instaurar un premio a los dos mejores alumnos egresados cada año como Ingenieros de Ejecución y civil Metalurgistas;
- 9.- Instaurar y celebrar dignamente el Día del Metalurgista; y
- 10.- Llegar a ser el núcleo más fuerte y organizado entre las diversas entidades que albergan a los egresados de las universidades.

VENTAJAS:

PARA LOS ESTUDIANTES:

Orientación a las Prácticas de Vacaciones, obtención de ellas, y posibilidad de futuras colocaciones

PARA LOS PROFESIONALES O EGRESADOS:

Todas aquellas que una Asociación de este tipo las pueda brindar y cuyo análisis y discusión por obvias no se comentan.

PARA LOS PEQUEÑOS INDUSTRIALES:

Solución de sus problemas técnicos; mejoramiento de los sistemas y elementos de trabajo, mejoramiento de los rendimientos, obtención e intercambio de materias primas, etc, y todas aquellas que es dable de imaginar como consecuencia lógica de una entidad de esta naturaleza.

Todo esto es un análisis breve, a groso modo, de los antecedentes que fundamentan y justifican esta Asociación.

Finalmente, hacemos un fervoroso y sincero llamado a todos los egresados, alumnos, profesionales e industriales del ramo a que participen en forma activa en esta Asociación que también es vuestra.

EL DIRECTORIO

CARBURO DE SILICIO - PROPIEDADES Y APLICACIONES

*Pedro Paredes Sobarzo
Gerente Comercial
CARBORUNDUM CHILE*

INTRODUCCION

El Carburo de silicio ha pasado a tener con el tiempo una importancia cada vez mayor en diversos sectores industriales y en las más variadas aplicaciones. Sin duda su propiedad más conocida y utilizada sea su dureza, las piedras o esmeriles de Carborundum (nombre dado al Carburo de Silicio) son el mejor ejemplo. Como también, los finos granos de Carborundum utilizado hasta ahora para pulimento y fabricación de cristales ópticos.

Sus otras propiedades tales como: alta refractariedad y conductividad térmica lo hacen muy apropiado para aplicaciones como material refractario; sus propiedades químicas permiten que sea usado en contacto directo con la mayoría de los ácidos; la elevada resistencia al desgaste por erosión/abrasión lo transforma en el mejor revestimiento de ciclones de clasificación de minerales u otras aplicaciones donde erosión/abrasión están presentes. (Tabla 1). Posee propiedades di-eléctricas que permiten su utilización como elementos calefactores eléctricos.

En este resumido artículo, deseamos divulgar la evolución histórica y tecnológica del Carburo de Silicio desde su descubrimiento; dando énfasis a los diversos tipos de liga que le proporcionan sus principales propiedades físico-químicas.

Historia - Proceso de Producción.

En 1891 Eduard Goodrich Acheson, descubrió accidentalmente el Carburo de Silicio, cuando desarrollaba experiencias para obtener artificialmente diamante, Acheson hizo pasar una corriente eléctrica a través de una barra de Carbono, y mezcla Arcilla/Carbón, en función de las altas temperaturas que se desarrollaron, obtuvo junto al electrodo, pequeños cristales tan duros que fueron capaces de rayar el vidrio. Concluyó que estos cristales resultaron de la unión del Carbono y Corundum (Alúmina), le llamó al nuevo material CARBORUNDUM, y así nacía entonces el primer abrasivo producido por el hombre. Algunos años después, con el desarrollo de la técnica de análisis por rayos -x, se comprobó que el material producido por Acheson era en realidad un Carburo de Silicio y no de aluminio, manteniéndose no en tanto el nombre de CARBORUNDUM al Carburo de Silicio como hasta hoy.

Actualmente el Carburo de Silicio, se produce industrialmente de una mezcla granulada de cuarzo (aprox. 60%) y Coque de Petróleo o Carbón vegetal (% restante) en un horno eléctrico de resistencia. Forma parte de la mezcla aserrín y Cloruro de sodio, el 1º para mantener la permeabilidad en la masa y el segundo para

eliminar impurezas en la forma de cloruros volátiles. La reacción de carburación del Silicio se produce en dos etapas, son reacciones que ocurren en estado gaseoso de compleja cinética y casi simultáneamente. La 1ª es la reducción de oxígeno del Cuarzo para Si, desprendiéndose CO, que se inicia aproximadamente a los 1500°C, la 2ª es la carburación del Silicio por el exceso de Carbono existente para formar SiC.

Las temperaturas desarrolladas durante el proceso llegan a los 2.500 °C y diferentes tipos de SiC pueden ser formados concéntricos y externamente al electrodo de grafito siendo dos los tipos mas comunes: Verde y Negro. Con pureza de 99,5% tiene coloración verde claro, con 99% de pureza coloración verde oscuro, entre 97/99% es de color negro, los cristales con pureza superior al 99,5% son casi incoloros y menor que el 95% su coloración tiende al gris.

La producción es de 1 kg de Carburo de Silicio, requiere de una energía entre 7 a 8 kw-h. La mezcla cargada al horno después de un ciclo que lleva una semana, entrega sólo un 20% de Carburo de silicio comercial.

Propiedades Físico - Químicas

Todas las propiedades del carburo de Silicio están asociadas evidentemente a la estructura cristalina. Este cristaliza en dos sistemas cúbico y hexagonal llamado SiC-β y α respectivamente. El SiC-β se produce a bajas temperaturas. Por el proceso Acheson a aproximadamente 2400°C, se produce SiC-α cristalizando en la clase hexagonal y romboédrica del sistema hexagonal, tiene una gran variedad de polimorfismos en función del número de capas de la celda unitaria. El más utilizado es el SiC 4H (clase hexagonal con 4 capas en la celda unitaria).

Entre sus propiedades físicas vale mencionar en primer lugar su dureza superior al corindón y levemente inferior al diamante 2.200 - 3.000 por la escala Knoop ó 2.000 - 3.200 en escala Vicker (9,5 - 9,75 Mohs). Su conductividad térmica es también alta si comparado con otros materiales cerámicos reconocidos como buenos conductores de calor ($K = 10/12 \text{ Kcal/m}^2 \times \text{h} \times ^\circ\text{C}$). Posee densidad de 3,21 gr/cm³. Su coeficiente de dilatación térmica es bajo comparado también con otros materiales cerámicos, $= 3,8 \times 10^{-6} \text{ (cm/cm } ^\circ\text{C)}$. Posee densidad de 3,21 gr/cm³. lo que junto con su buena capacidad para conducir calor le proporcionan una excelente resistencia al spalling o choque térmico. El calor específico es de 0,10 (cal/g x °C) a 15 °C y 0,33 (cal/gr x °C) a 1.320 °C. Por ser un material

semi-conductor, la resistencia eléctrica específica del SiC negro es 2,13 (Ohms/cm) y del verde 0,41 (ohms/cm). Razón por la cuál, los elementos calefactores de carburo de silicio son producidos con carburo de Silicio verde en su parte calefactora y con el negro en su parte sólo conductora de electricidad.

Químicamente el carburo de Silicio por ser un compuesto de carbono es químicamente neutro, no en tanto, la formación de una fina película de sílice por oxidación superficial de los granos durante la cocción de los refractarios le otorga características levemente ácidas. En atmósferas reductoras, el Carburo de Silicio es estable hasta los 2400 °C, cuando la atmósfera es oxidante la oxidación empieza a ocurrir alrededor de los 800°C, la presencia de vapores de agua promueve mas rápidamente la oxidación. La oxidación también es acelerada en la presencia de compuestos de Al₂O₃, B₂O₃, CaO, PbO y V₂O₅. resiste también la acción de los ácidos nítricos (HNO₃), sulfúricos (H₂SO₄), clorhídrico (HCl), Fluorhídrico y Brómico (HBr). Se disuelve en fundentes alcalinos oxidantes y en la presencia de Bórax y Criolita. En la presencia de Cloro a 900 °C reacciona formando tetracloruro de Silicio y Carbono. Cuando es adicionado al Hierro o acero fundido, se disocia exotérmicamente y el Silicio reacciona inmediatamente con los óxidos del baño, lo que los transforma en un energético y excelente desoxidante.

Técnica para ligar Carburo de Silicio.

La fabricación de piezas o componentes de Carburo de Silicio guarda relación con la finalidad a la que esta destinará, tal vez lo más conocido corresponde a los abrasivos fabricados con los granos de Carburo de Silicio, en este caso la liga puede ser a base de resinas-fenólicas como ocurren con discos de corte y desbaste o colas animales, como el caso de los abrasivos revestidos (papel lija). Las piedras esmeriles son ligadas cerámicamente con una liga formada a partir de Silicatos complejos, de dureza variada en función de la aplicación que tendrá la piedra esmeril.

Los refractarios de Carburo de Silicio mas tradicionales poseen una liga cerámica formado por minerales de alta refractariedad. Esta liga de cualquier forma, es el punto débil dentro de la estructura, por tal razón se desarrollaron tipos de ligas más eficientes, capaces de tener características similares o equivalentes a los del grano de Carburo de Silicio

Liga de Nitruro de Silicio (Si_3N_4) es producido artificialmente, siendo en su mayoría fabricado por la nitruración de Silicio metálico. Puede también ser producido por la nitruración de una mezcla de sílice y carbón a alta temperatura.

El Nitruro de Silicio sublima a 1900°C , sin tener punto de fusión bien definido. Este compuesto posee una dureza levemente inferior al Carburo de Silicio y un coeficiente de expansión térmica levemente inferior ($\alpha = 2,5$ a $3,5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$). Estas características hacen que cuando Nitruro de Silicio liga a granos de Carburo de Silicio, las piezas poseen buena resistencia a la erosión/abrasión y al choque térmico, superior a los ligados cerámicamente a silicato.

Carburo de Silicio recristalizado.-

La recristalización se produce a partir de finos granos de SiC pre-compactados con densidad próxima a la teórica que son sinterizados a temperaturas suficientemente altas para provocar la sublimación de éstas finas partículas. Estos vapores de SiC son transportados hasta la superficie de los granos de SiC mayores donde condensan y producen la unión con crecimiento (Recristalización). Piezas fabricadas con esta liga pueden ser usados a altas temperaturas como elementos estructurales, en condiciones donde corrosión/abrasión/erosión están presentes, bien como, aplicaciones electrónicas como el caso de elementos calefactores.

**TABLA 1.- ANALISIS DE VIDA DE APEX DE
HIDROCICLONES**

MATERIAL ANTI-ABRASIVO	VIDA ALCANZADA (HRS)
Poliuretano	200 - 300
Zirconia, Alúmina, Titanio en matriz de vidrio fundido	300 - 350
Alúmina de alta densidad	350 - 400
Ni - Hard	400 - 450
Goma	800 - 1500
Carburo de Silicio ligado c/Nitruro de Silicio (CAST REFRAJ)	1500 - 3000
Carburo de Silicio auto ligado (HEXOLOJ)	6000 - 15000

	Recristalizado	Autoligado	Si_3N_4	Silicato
Máx. Temp. de uso ($^\circ\text{C}$)	1600.0	1375.0	1650.0	1650.0
Conductividad térmica a 200°C ($\text{W/m}^\circ\text{K}$)	50.0	95.0	20.0	15.7
Dilatación térmica lineal $/^\circ\text{C} \times 10^{-6}$	4.5	4.6	4.7	4.7
Porosidad aparente %	16.0	0.0	14.0	14.0
Módulo de ruptura a 1200°C (Kgf/cm^2)	1200.0	3900.0	500.0	215.0

**TABLA 2.- COMPARACION ENTRE
DIFERENTES LIGAS DE CARBURO DE
SILICIO**

Carburo de Silicio auto-ligado (Self-bonded)

También denominado reaction.bonded, se produce a partir de la mezcla de granos de carburo de Silicio y materiales carbonosos densificados y tratados a altas temperaturas en la presencia de Silicio metálico. Durante la quema, el Silicio penetra y reacciona con los materiales carbonáceos para formar un carburo de silicio adicional que ligará los granos. la porosidad remanente es entonces ocupada por un exceso de silicio. Este alto contenido de Carburo de silicio y baja porosidad lo torna un material excelente para aplicaciones donde erosión/abrasión/corrosión, están presentes, tales como: elementos de desgaste en minería, blindajes, sellos mecánicos, etc.

En la tabla 2 se pueden comparar las principales características entre los diversos tipos de carburo de Silicio en función de su liga.

REFERENCIAS

- "Chemical Resistance of Carborundum Frax Refractories" - Standard Oil Engineered Material Brochure (1981).
- "Histórico da produção de Carbeto de Silício" - Relatório interno Carborundum.
- "The Carborundum Company 1981-1991 Our second Century" - Brochure form P-436 Effective (12/90)
- "Technology of Monolithic Refractories" - Published and Distributed By Plibrico Japan Co. Ltd. (1984).
- "Advanced Silicon Carbide Material, for high-temp., Precision-Performance Applications". Brochure form A-4005 effective 1/92.

FUNDICION Y MECANIZADOS DE FAMA E

F.M.E

Fundiciones y Mecanizados F.M.E. es una Unidad de Gestión Independiente de FAMA E, constituida por las principales instalaciones fabriles de FAMA E, se integra al mercado a partir de 1992 en forma independiente, pero llevando tras sí la experiencia, calidad y prestigio de más de cien años en la vanguardia del progreso tecnológico del país.

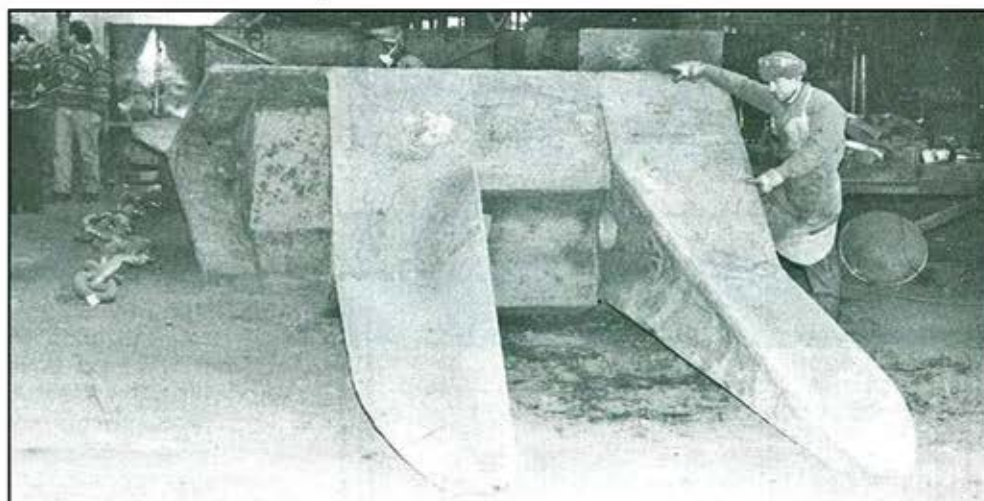
Las principales capacidades de F.M.E. se encuentran en la conjunción de su Fundición de aceros especiales con capacidad para fundir piezas de hasta cinco toneladas y la Maestranza de Mecanizados especiales con sus máquinas herramientas, tanto de precisión como para trabajos pesados.

Es de este modo como esta Empresa además equipada en su principal recurso con cuadro de Ingenieros, Técnicos y Trabajadores especializados, del más alto nivel, está habilitada para satisfacer las necesidades de suministros de repuestos, equipos, servicios e ingeniería a todas las Empresas Chilenas, ya sean del Area Minera, Fabril, Agrícola, Naviera, etc..

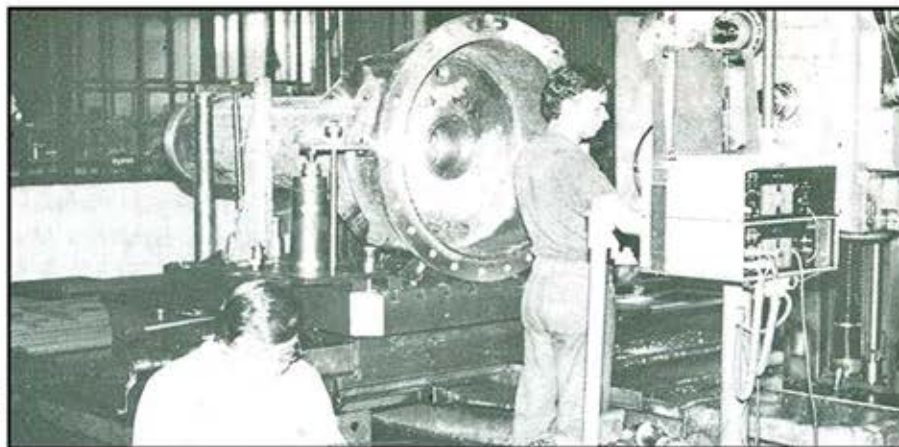
Esta nueva orientación obedece a las necesidades que obligan los nuevos conceptos de las empresas modernas, principalmente en lo referido a estrategias comerciales como:

- Priorizar las necesidades y objetivos del cliente, para ofrecer un producto que le satisfaga en calidad y oportunidad.
- Cambiar el sistema variable de captación de trabajos y servicios a pedido, por uno de productos de línea logrados como resultado de proyectos analizados, realizados y evaluados en sociedad con el usuario, a fin de ofrecer un producto que le satisfaga plenamente.

Ancla de 12 toneladas fabricada en la Fundición de FME, Proyecto Chilgener, Muelle Ventanas



Repuesto fundido y mecanizado en F.M.E. cliente CAP HUACHIPATO



La organización de la Empresa se basa en dos grandes Plantas Productivas que son: Planta Mecanizados y Planta Fundiciones que ofrecen sus productos a través de un Área Comercial especializada, tanto en sus capacidades como en las necesidades del mercado industrial.

En esta nueva etapa se han logrado resultados importantes de proyectos ejecutados en diversas áreas tales como:

- * Área Minera: Fabricación de revestimientos (corazas) para molino de barras de Plantas Concentradoras, sistemas de conexión de barras para Plantas Electrolíticas y/o Lixiviación (Codelco Chuquicamata, El Teniente, Enami,

Quebrada Blanca, etc.).

Estos proyectos han abarcado desde el diseño de perfil, montaje, fabricación y evaluación de resultados de los revestimientos, tratando de conseguir un mayor rendimiento por juego, de tal manera que el usuario obtenga una economía por el menor costo del producto, como por su mayor calidad, derivando en un mejor aprovechamiento de sus instalaciones.

- * Área Náutica: Mediante la complementación de nuevas tecnologías se han fabricado con éxito productos para ser utilizados en fondeos marinos, como son las anclas, cadenas y accesorios de ensamble, todos ellos fundidos y mecanizados, los cuales son certificados por los organismos correspondientes que autorizan a estos productos para ser usados en el litoral chileno. Esta línea de fabricación ha logrado sustituir importaciones que siempre han comandado este rubro.

- * Área Repuestos y Piezas para Ensamble: Importante ha sido la fabricación de repuestos y en mayor medida piezas para ensamblar, que utilizan otras empresas nacionales, para el armado de sus productos que son comercializados generalmente en el mercado internacional.

- * Área Máquinas y Equipos: Se han mantenido como es tradicional las fabricaciones de máquinas como prensas de 16 toneladas que se han exportado exitosamente a Argentina, Costa Rica y Honduras además de sistemas de refrigeración para equipos pesados.

Por lo tanto, con una eficiencia a toda prueba y una tecnología de avanzada, F.M.E. se proyecta como una empresa moderna que apoyará en forma sólida y experimentada el progreso industrial de Chile.

Para lograr lo anteriormente expuesto F.M.E. dispone de planes periódicos de capacitación nacional e internacional que posibilita constantemente el desarrollo individual de sus Profesionales y Trabajadores, además de la modernización constante de sus máquinas y equipos.

ALFREDO FILIPPI QUEZADA
Ingeniero Ejecución Mecánico USACH
Gerencia Comercial



FUNDICION Y MECANIZADOS
FAMAE

PRODUCTOS DE ACERO Y ALEACIONES ESPECIALES

- * Corazas de 650 HB para Molinos.
- * Repuestos para Laminadores y Bombas impulsoras.
- * Ruedas fundidas, Copas centro para carros mineros y ferroviarios.
- * Eslabones de cadena tipo oruga.
- * Parrillas Fundidas.
- * Paños de Cadenas para usos Náuticos y Mineros.

PRODUCTOS DE MECANIZADOS ESPECIALES EN:

- * Tornos CN, Paralelos, Verticales, Precisión, Automáticos y Copiadores.
- * Fresadoras Automáticas, Universales, Generadoras y Copiadoras.
- * Rectificador Cilíndrico, Exterior e Interior.
- * Barrenadoras Universales.

GERENCIA DE VENTAS Y ASISTENCIA TECNICA:
Av. Pedro Montt 1606 Fono: 5561011 Anex. 297
Casilla 4100 - Santiago

PERFIL DE LAS HERRAMIENTAS DE IMPULSOS POR ACEITE

Caracterizadas por su exclusivo mecanismo neumático/hidráulico, las herramientas de impulsos por aceite URYU pueden resolver todos los problemas de apriete que presentan actualmente los Aprietatuercas y las llaves de impacto.

1. Baja productividad y fuerte reacción de los aprietatuercas angulares. Dicha reacción provoca graves lesiones en la muñeca, tales como el síndrome del túnel carpiano.
2. Fuertes ruidos y vibraciones y un apriete impreciso en las llaves de Impacto.

Las herramientas de impulsos de aceite URYU poseen la velocidad de las llaves de impacto, para proporcionar una elevada productividad, y la repetibilidad de los aprietatuercas angulares para un apriete sumamente preciso. Otra notable característica es que su reacción resulta casi imperceptible, siendo muy inferior a la de los aprietatuercas angulares.

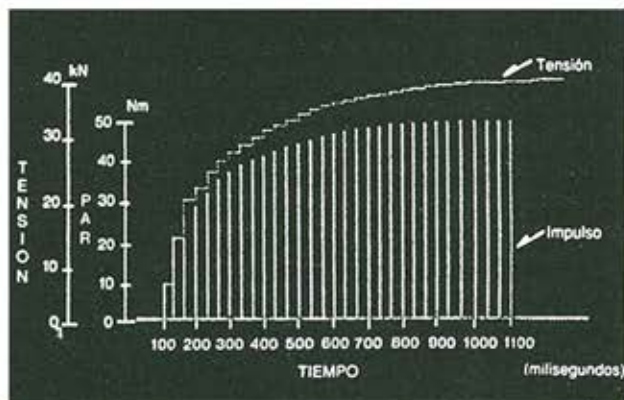
Las herramientas de impulsos de aceite URYU han alcanzado ya la cuarta generación, la "Serie UX-T con Control de Par", después de dejar atrás la primera ("Serie de una sola paleta"), la segunda ("Serie UX de Doble Paleta") y la tercera ("Serie de Rodillo UXR") (actualmente sólo en los modelos pesados). En las páginas siguientes se facilita una descripción detallada de cada serie.

Paralelamente a nuestros esfuerzos de innovación para el desarrollo de mecanismos avanzados, prestamos siempre gran atención a la mejora del ambiente de trabajo. Hemos conseguido desarrollar para las paletas del rotor un material que realmente no necesita lubricación. Actualmente los modelos pequeños y medios (UX612 ~ UX1000, UX-T700L ~ UX-T1000) incorporan ya el "rotor de paletas sin aceite". Las herramientas de impulsos de aceite URYU sin lubricación crean además un buen ambiente de trabajo y reducen considerablemente el costo de inspección y mantenimiento de la línea de aire.

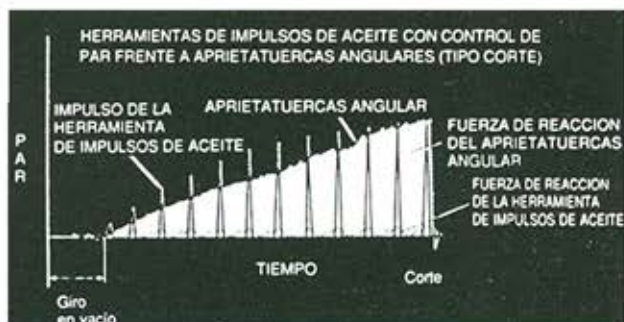


Herramientas sin lubricación para disfrutar con el trabajo diario

PAR/TENSION DE LAS HERRAMIENTAS DE IMPULSOS DE ACEITE



COMPARACION DE REACCION DE PAR



AIM/URYU

LA HERRAMIENTA PERFECTA

- 1.- TORQUE CONTROLABLE
- 2.- REPETIBILIDAD DE TORQUE
- 3.- PARO AUTOMATICO
- 4.- NO REQUIERE LUBRICACION
- 5.- MAYOR DURACION
(5 VECES MAS QUE LAS DE IMPACTO)
- 6.- MINIMO MANTENIMIENTO
(1/10 DEL COSTO DE LAS DE IMPACTO)
- 7.- DISEÑO ERGONOMICO
- 8.- SIN VIBRACION
- 9.- SIN RUIDO
- 10.- SIN GOLPEAR AL OPERARIO
(NO TIENE REACCION DE TORQUE)

REDUZCA EL "SINDROME DEL TUNEL CARPAL" ANTES QUE ESTE LE REDUZCA LA PRODUCTIVIDAD

Las cuotas de producción demandan ahora una eficiencia en la línea de montaje y una reglamentación de la seguridad del operario de las que no se había escuchado hablar hace apenas una generación.

Sin embargo, junto a esta avanzada tecnología, que ha facilitado importantes implementos en la producción, existe una fuerza oculta obrando en perjuicio de las líneas de montaje mas efectivamente diseñadas. Se trata del "síndrome del túnel carpal" (CTS por sus siglas en inglés). El CTS está causando a los fabricantes estadounidenses miles de horas-hombre perdidas y un costo de millones de dólares por demandas del Seguro Médico anualmente. Consideremos los siguientes hechos:

- * El CTS se le asocia con operaciones manuales en las que se requiere ejercer una fuerza considerable con la mano en posición doblada o torcida. Esto provoca una inflamación de los tejidos que rodean el túnel carpal, y que a su vez, origina una compresión del nervio mediano.
- * Un operario puede sufrir durante años los síntomas del CTS (sensación de dolor, entumecimiento, hormigueo y ardor en la mano, y una reducción de la habilidad manual) sin

sospecharse siquiera que estos, esán relacionados con su trabajo.

- * Si no se atiende oportunamente, el CTS puede requerir de tratamientos médicos muy costosos (con frecuencia se precisa de cirugía) y en casos extremos, puede ocasionar una incapacidad permanente.

Durante amplias investigaciones que se han realizado, se ha podido comprobar que la incidencia de CTS se puede reducir mediante un diseño mejorado de la herramienta y de sus características de funcionamiento. al introducir en el mercado la primera de sus herramientas hidroneumáticas de impulso, la Acra-Pulse, la empresa Uryu logró considerables avances en la reducción de las lesiones sufridas por el operario al minimizar las vibraciones, el ruido y la reacción del par de torsión de la herramienta, manteniéndolo a la vez, un momento de torsión alto y uniforme.

Permítanos ayudarle a reducir los efectos nocivos del CTS con nuestras herramientas de la Serie Acra-Pulse; las cuales hemos diseñado pensando en el operario. Comuníquese con su distribuidor AIM/ URYU en Chile:

Cusatto y Riquelme

DISTRIBUIDOR

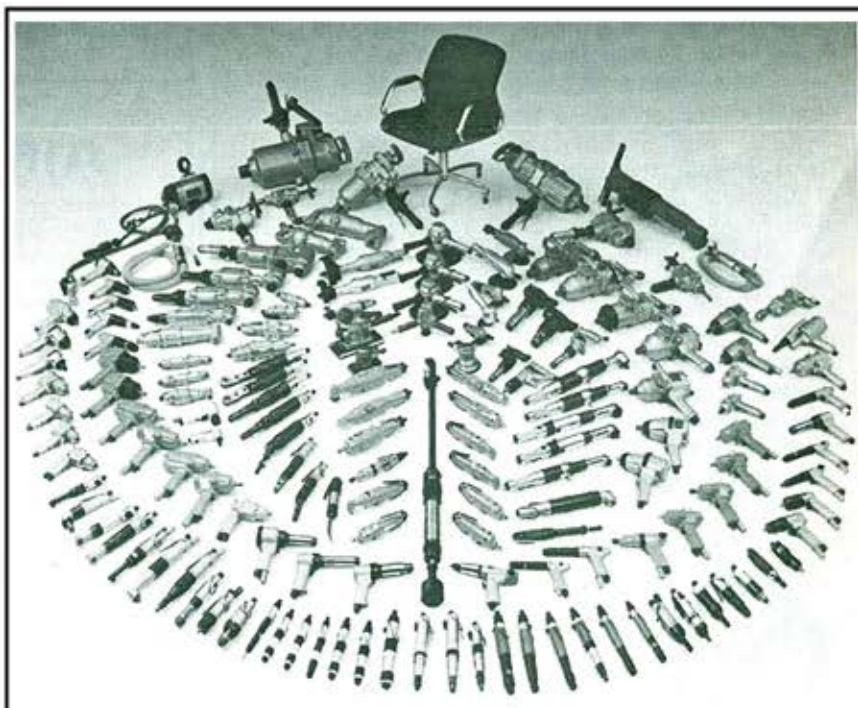
CUSATTO Y RIQUELME

Productos 3M - Fabricación hornos Industriales - Control solar - Abrasivos y Herramientas para su aplicación

DEPARTAMENTO ABRASIVOS INDUSTRIALES

- Disponemos de últimas tecnologías en herramientas y abrasivos
- Abrasivos: Scotch Brite de 3M; un abrasivo tridimensional, resiliente y conformable. La nueva era.
- Herramientas Eléctricas manuales e hidroneumáticas URYU de avanzada tecnología, actualmente líderes en el mercado internacional

MARIN 038 - PROVIDENCIA
FONOS: 251 8046 - 634 2350 FAX: 634 2350
SANTIAGO.



NUEVA TECNOLOGIA PARA EL MONITOREO CONTINUO DE MATERIAL PARTICULADO EN CHIMENEA

Para las empresas de hoy, mantenerse en conformidad con la nueva legislación ambiental del aire y maximizar la producción, se ha convertido en un verdadero desafío. Para alcanzar este objetivo, se han desarrollado diferentes tipos de instrumentos de monitoreo. Al ser utilizados de manera correcta, estos instrumentos pueden monitorear en forma precisa las emisiones de material particulado, y evitar el incumplimiento de la legislación ambiental.

Dado que cada planta opera de manera diferente, cada aplicación debe ser evaluada independientemente antes de tomar una decisión de compra. Variables específicas pueden afectar de manera importante la exactitud del monitor. Es recomendable estar familiarizado con los siguientes criterios, y a medida que el tiempo transcurre, estar alerta sobre cualquier cambio que pueda alterar estos parámetros:

1. *Temperatura y química del flujo de gases.*
2. *Diámetro de ductos y accesos.*
3. *Naturaleza del material particulado.*
4. *Tipo de aplicación.*
5. *Volumen de aire.*

Después de determinar

estos criterios operacionales, se deben revisar los monitores disponibles en el mercado, sus características y limitaciones. Este artículo se focaliza sobre una nueva tecnología de monitoreo continuo, que ha sido aplicada con gran éxito en Europa y USA y que ahora es presentada en el mercado chileno por BHA. Esta tecnología difiere sustancialmente de la aplicada comúnmente en Chile: el opacímetro convencional.

Opacímetro convencional

La opacidad está definida como el agrado de reducción de la transmisión de luz, producto de una emisión. Opacidad es por lo tanto la fracción de un haz de luz, expresada en porcentaje, que no traspasa la pluma de humo. La tecnología para obtener la opacidad se basa en la medición de la cantidad de luz absorbida cuando un haz de intensidad conocida atraviesa un flujo de gases. La porción de intensidad de luz que retorna, es convertida a un voltaje proporcional que es utilizado para entregar lecturas en una pantalla.

Una nueva tecnología: monitoreo continuo de material particulado

Un nuevo monitor continuo de material particulado (CPM) ha sido desarrollado para aumentar la precisión en

la medición del monitoro de emisiones y para superar los problemas típicos encontrados en los monitores convencionales de emisión. El nuevo CPM, es un monitor de polvo continuo calibrable, que funciona en base óptica, que utiliza un microprocesador, un cabezal transmisor y un cabezal receptor. Al ser calibrado con un muestreo isocinético provee una lectura directa en mg/m³ del material particulado presente en los gases de escape. Puede ser utilizado como un detector de mangas filtrantes rotas o como un analizador de tendencia de emisiones de largo plazo.

El CPM utiliza una variación sofisticada del método estándar de medición de extensión de luz. Cuando el polvo pasa entre el transmisor y el detector, la absorción momentánea de luz por las partículas hace que el detector perciba una señal modulada del transmisor. La señal de modulación aumenta y se correlaciona con el aumento en la concentración de polvo. El detector mide la interrupción en la luz, la cual es convertida a un valor de concentración de polvo correspondiente (en mg/m³) por el microprocesador.

El instrumento (figura 1) responde sólo a polvo en movimiento, a través del ducto. Dado que el CPM mide varia-

ciones de señal resultante del movimiento de partículas, el monitor no se ve afectado por condiciones que provocan un cambio en la intensidad óptica, como acumulación de polvo en las ventanas del transmisor y receptor, desalineamiento, y envejecimiento de sensores. Como las condiciones cambian con el tiempo, un circuito de compensación aumenta la sensibilidad de la fotocélula, manteniendo una señal óptica invariable, permitiendo al microprocesador responder sólo a las variaciones debidas a la presencia de particulado en movimiento. El CPM tiene incorporado un sistema de purga de aire continua que actúa como sello impidiendo la acumulación de polvo en las ventanas de los sensores.

En caso de ausencia de particulado, el detector no observa una variación de la señal del transmisor, proveyendo una condición de cero estable. El transmisor utiliza una luz LED de 1,5 KHZ. El detector entonces sintonizado en la frecuencia del transmisor permite la operación en presencia de luz ambiental. La luz es emitida en el rango visible, y por esto es virtualmente transparente a muchas emisiones industriales comu-

nes, como vapor de agua, monóxido de carbono y dióxido de carbono. El sistema permite una alta sensibilidad para bajos niveles de polvo, mejorando la precisión y la constancia de las lecturas obtenidas ($\pm 0.1 \text{ mg/m}^3$). El rango de medición de concentración de material particulado va desde 0.1 hasta 10.000 mg/m^3 . Otra cualidad importante de este instrumento es que puede ser instalado en chimeneas con diámetros entre 0,25 m y 15 m.

El desalineamiento u óptica sucia no causan efecto en la calibración y la recalibración es innecesaria bajo condiciones de operación normal. Se recomienda verificar la calibración junto con la mantención normal anual o después del reemplazo de algún componente electrónico.

Para la confección de reportes y análisis de las emisiones, un data logger incorporado permite acceder a 90 días de información de concentración promedio horario de particulado, incluyendo valor de concentración, fecha y hora de la emisión (Figura 2). Se incluyen 2 niveles de alarma de concentración de polvo y salidas, 4-20 mA, 1-10 volts y RS 423 para la repetición remota de las seña-

les, la impresión de los valores y el análisis de los datos a través de un software especialmente diseñado para el instrumento.

Es importante conocer la forma de operación de los diferentes monitores, sus distintas características, sus ventajas y desventajas. Ninguna tecnología de colección de material particulado asegura por completo la prevención de la ocurrencia de emisiones. Sin embargo, a través del monitoreo apropiado, la industria regulada puede mejorar sus equipos y evaluar apropiadamente nuevos sistemas, ahorrando una significativa cantidad de tiempo y dinero, y asegurando asimismo el cumplimiento de la legislación ambiental.

Ing. Rafael González
Jefe Ventas Area
Control Ambiental
PIMASA.

*Representante exclusivo
para Chile de BHA
Group Inc.*

