

# Técnicas de soplado para la metalurgia en cucharas

A. ALONSO GARCIA

DIDIER, S. A. - Lugones (Asturias)

**RESUMEN.**—Técnicas de soplado para la metalurgia en cucharas.

Se describen en este artículo los argumentos técnicos y económicos que han dado lugar al desarrollo de la metalurgia de cucharas de acero. Asimismo, se consideran los cambios de tecnología que han supuesto el uso del insuflado de argón y los cierres de corredera en los recubrimientos de cucharas. Después de describir los diferentes métodos metalúrgicos (D, VOD, VAD, CAS, RH, etc.), se discuten con detalle las variables que determinan el rendimiento del insuflado de argón en el acero líquido, tales como el área de inyección, presión utilizada, etc., así como en la mejora de la limpieza del acero. Finalmente, se muestran los materiales refractarios porosos, tales como los ladrillos porosos direccionales laberínticos, describiendo su construcción, limpieza y piezas de mantenimiento.

## 1. INTRODUCCION

Desde la edad de hierro hasta la década de los 70, salvo para el caso de los denominados aceros especiales, todos los procesos metalúrgicos y su desarrollo eran concebidos, casi en exclusividad, para los órganos principales de fusión, que en este trabajo se reducen a los convertidores LD (siderurgia integral) y los hornos de arco (acerías eléctricas o miniplantas). Las cucharas eran simples recipientes de transporte.

Aunque no puede restársele importancia a la calidad del acero, la realidad es que en esos años la principal preocupación era la productividad, mejor dicho, la producción, quedando incluso relegado a este término el concepto económico.

Con la crisis del petróleo de 1973, se produce un vuelco total en el mercado siderúrgico, quien, por su fuerte dependencia energética, no puede evitar verse arrastrado por dicho suceso. Como además el consumo en el mercado baja estrepitosamente, la rigidez de las estructuras fabricantes de acero provoca una saturación de productos con las inevitables consecuencias derivadas de una oferta superior a la demanda, es decir, se comienza a exigir «mejor calidad» a «un mejor precio».

El ritmo estaba lanzado e imparable, o se comenzaba a fabricar mejor calidad con bajos costes o se estaba abocado a un fracaso cantado.

Ya no podían permitirse alegrías: «los problemas económicos y técnicos tienen que ir de la mano y han de considerarse conjuntamente».

¿Cómo conjugar estos dos factores realmente incompatibles en la producción de acero?

El objetivo de reducir costes rige para la ingeniería de planta, materias primas, tecnología de procesos y metalurgia. Sin embargo, es de todos conocido que:

**ABSTRACT.**—Blowing up methods for ladle metallurgy.

The economical and technical arguments which have given rise to the development of the steel ladle metallurgy is described in this paper. Likewise, the changes involved on the ladle linings by the argon blowing and the slider gates are considered. After describing the several metallurgy methods (D, VOD, VAD, CAS, RH, etc.) the variables which determine the argon blowing up yield into the liquid steel (pressure, injection area, etc.) and the improving for the steel cleaning are discussed with detail. Finally, the porous refractories such as the directional porous bricks labyrinthic type, are shown with the description of the building, cleaning and spare parts used.

- La reducción de costos de las materias primas redundaba generalmente en mayores gastos de elaboración. Consecuencia: deben neutralizarse estos mayores costos con la racionalización del proceso.
- La disminución de los costes de fabricación, como un problema técnico y económico, se consigue aumentando el rendimiento. Esto puede lograrse con un aumento en los sistemas de planta y reduciendo el tiempo de fabricación. Pero la ampliación de los sistemas de la planta y un acortamiento del tiempo de procesamiento como medio para llegar a una mayor eficacia conducirá a una mayor carga específica sobre los sistemas productores, además de perder, consecuentemente, «flexibilidad metalúrgica».

En la figura 1 se esquematiza el proceso siderúrgico entre el horno y la laminación.

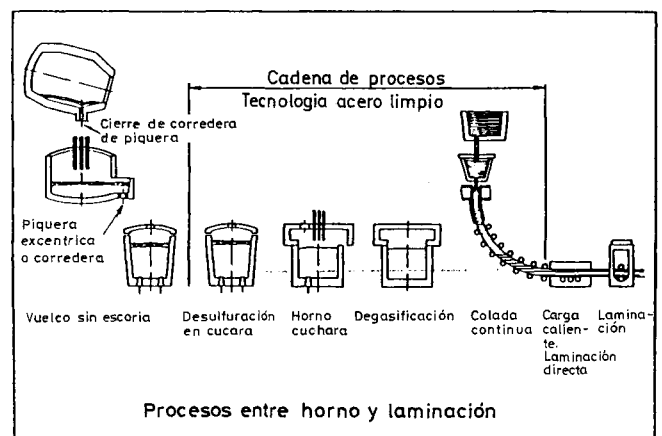


Fig. 1.—Esquema del proceso siderúrgico entre horno y laminación.

Recibido el 1-7-89 y aceptado el 30-8-89.

En la figura 2 se representa la relación existente entre el tamaño del horno y la superficie específica de reacción entre fases. Partiendo de la base que las reacciones metalúrgicas entre las fases acero, escoria, atmósfera de gases, se desarrollan más rápidamente cuanto mayor sea la interfase entre las fases, se observa cómo un aumento del tamaño de un horno ejercerá una influencia negativa sobre el curso de las reacciones metalúrgicas.

Igualmente, se advierte en la figura 3, en la que se ha representado la relación entre el tamaño del horno y el área de pared correspondiente, que con una mayor capacidad del horno habrá una mayor carga específica sobre la pared de éste.

En resumen, el aumento de la capacidad de un horno por razones económicas lleva necesariamente a:

- 1º Una limitación de la capacidad de reacción debido a la menor superficie específica de reacción entre las fases metal, escoria y gases.
- 2º Un mayor consumo específico de material refractario con una mayor potencia eléctrica específica instalada.

En consecuencia, era necesario buscar otro camino más eficaz, y no podía ser otro que el de trasladar a otra instala-

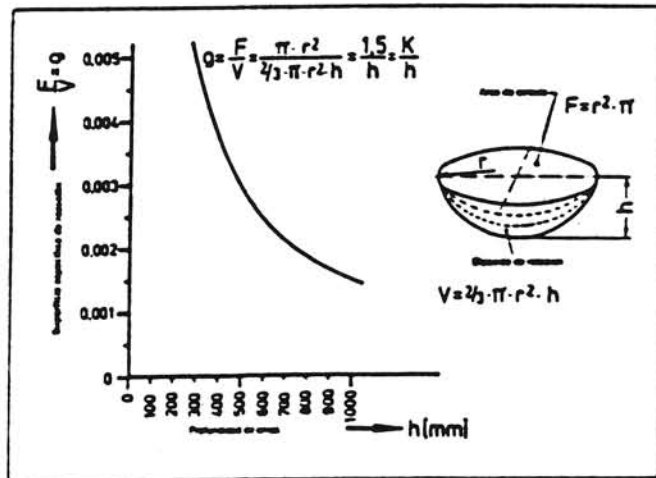


Fig. 2.—Relación entre tamaño del horno y superficie específica de reacción.

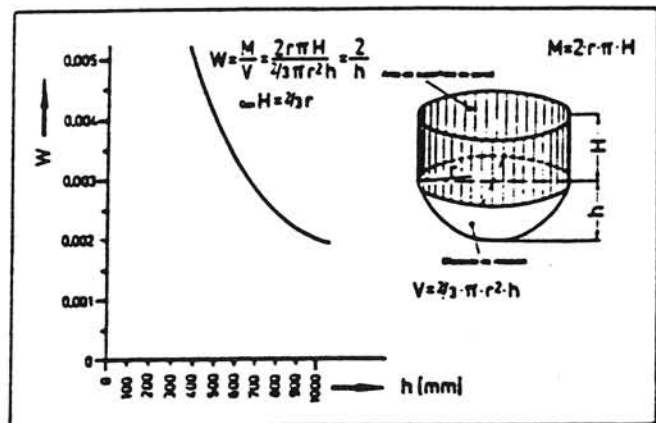


Fig. 3.—Relación tamaño de horno y área de la pared del mismo.

ción posterior, la cuchara, todas aquellas etapas de proceso que no necesariamente deban desarrollarse dentro del horno. Nace así la denominada «metalurgia en cuchara» o también denominada «metalurgia secundaria».

De esta manera, el horno se convierte en un simple instrumento de fusión y pasa a primera línea el papel de la cuchara.

En la figura 4 se ve esquemáticamente esta evolución.

¿Cómo siendo algo tan elemental y sencillo, tarda tantos años en desarrollarse realmente esta revolucionaria tecnología?

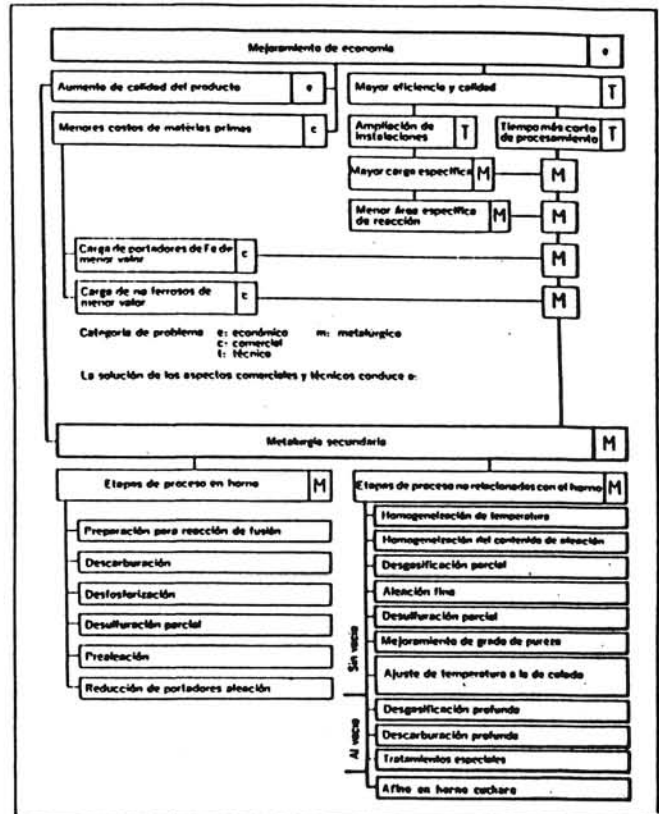


Fig. 4.—Evolución desde la tecnología siderúrgica convencional a la metalúrgica en cucharas.

En honor a la verdad, además de la crisis económica como desencadenante principal de la metalurgia secundaria, faltaban los medios principales en que desarrollar este proceso, puesto que, teóricamente, existen complejos y completos estudios metalúrgicos desde hace más de treinta años en los que se mostraban todas las ventajas metalúrgicas actualmente aprovechadas, pero materialmente difíciles de llevar a cabo en aquellos tiempos.

Entre los factores fundamentales que hacen posible el desarrollo de la metalurgia secundaria destacan:

- Desarrollo de los procesos metalúrgicos.
- Evolución de los refractarios de alta calidad para los revestimientos de las cucharas.
- Insuflado de argón en las cucharas.
- Cierres de corredera.

En el resto de los trabajos recogidos en este número monográfico del Boletín de la SECV, se han ido analizando pormenorizadamente por grandes conocedores del tema, todo

lo que puede decirse sobre los refractarios en cuchara, y dejando fuera el factor sobradamente conocido de los cierres de corredera, por lo que se va a intentar sintetizar los otros dos factores, difíciles de separar por guardar una estrecha correlación, resultando por ello complementarios entre sí.

## 2. PROCESOS METALURGICOS

Se denominan así el conjunto de métodos o instalaciones existentes con el mismo fin de alcanzar una buena elaboración o ajuste del acero líquido contenido en las cucharas de acero, con objeto de minimizar las operaciones a realizar en los hornos principales de fusión y alcanzar además altos grados de calidad de acero con una economía óptima.

Aunque ya hacía años que se utilizaban diversos métodos para la mejora de las calidades especiales de aceros (por ejemplo, ya existían instalaciones para la desgasificación del acero desde los años cincuenta), se tomará como puntos de partida la década de los años setenta, aunque en el sector llamada de acero común no tiene lugar hasta la actual década de los ochenta.

En lo que sigue, se expondrá una breve descripción algunas de estas instalaciones, imprescindibles en la marcha actual de las acerías:

### 2.1. «Ladle vacuum degassing (D)»: Desgasificación al vacío

Siempre con gas inerte como medio de lavado. Es un proceso muy utilizado por su fácil manejo y sus bajas cotas de inversión (fig. 5.1).

El lavado con argón produce la agitación ocasionando mayores superficies de reacción entre escoria, metal y atmósfera de la cámara de vacío, con lo que se consigue: mayor homogeneidad, mayor eliminación de inclusiones y mejor eliminación de  $H_2$ , C y  $O_2$ .

Tiene el inconveniente de las pérdidas de calor, por lo que los tiempos de tratamiento están limitados.

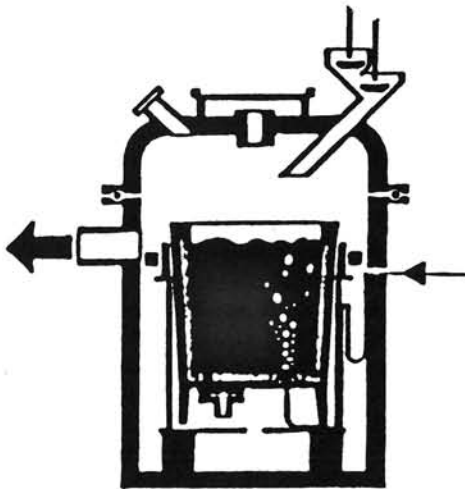


Fig. 5.1.—Proceso desgasificación al vacío (D).

### 2.2. «Vacuum oxygen decarburisation (VOD)»: Decarburación al vacío por $O_2$

Suma al proceso anterior el calentamiento por  $O_2$ . Muy utilizado para aceros de alto contenido en Cr y aleaciones,

obteniéndose extremados bajos contenidos en C, alta recuperación del Cr, excelente eliminación de  $O_2$  y carbono por formación de CO, así como del  $H_2$ , Pb y Zn, realizándose simultáneamente la desulfuración por escorias. Debido al exceso de calor en este proceso, pueden adicionarse elevadas cantidades de sustancias aleatorias y refrigerantes (fig. 5.2).

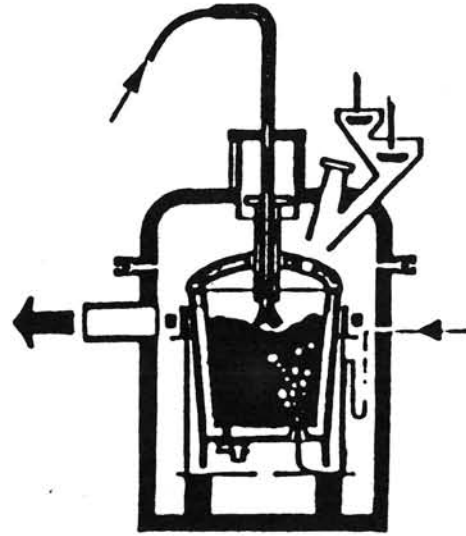


Fig. 5.2.—Proceso de carburación al vacío por  $O_2$  (VOD).

### 2.3. «Vacuum heating degassing (VHD o VAD)»: Desgasificación al vacío con calentamiento por arco

Es un proceso muy versátil, sin limitación de tiempo ni pérdidas de temperatura, que satisface las demandas de mayor productividad, aleación efectiva, control de temperatura, desgasificación, pureza, economía de materia prima y energía, y bajas cargas ambientales (fig. 5.3).

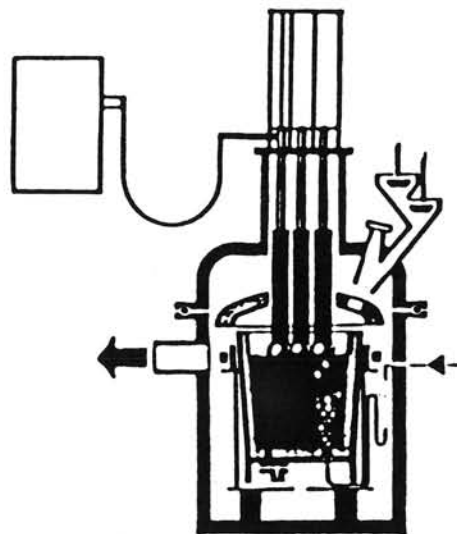


Fig. 5.3.—Desgasificación al vacío por calentamiento por arco (VHD o VAD).

## 2.4. Proceso CAS: «Composition ajustement by sealed argon bubling»: Ajuste de composición por burbujeo de argón en sellado

Es utilizado en la siderurgia integral después de la sangría en convertidor y lo tiene actualmente la nueva acería LD-III de Ensidesa.

Destaca como peculiaridad específica que la primera e imprescindible misión del tapón poroso en la cuchara es la de insuflar argón en el acero para producir una abertura en la capa de escoria para la introducción de la campana que se sumerge en el baño (fig. 5.4).

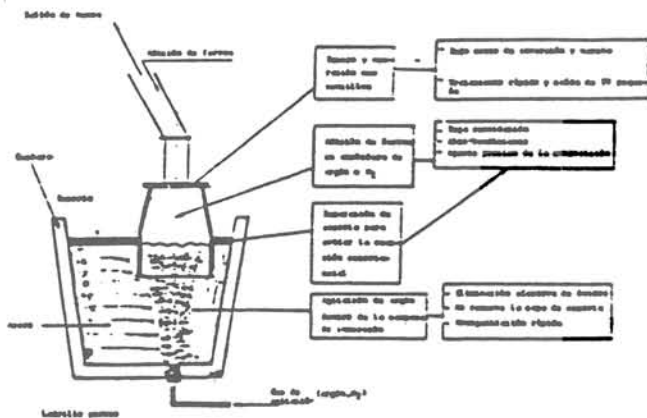


Fig. 5.4.—Proceso de ajuste de composición por burbujeo de Ar en circuito cerrado.

Esto requiere un caudal de insuflado de 400-700 l/minuto para bajar luego a condiciones más normales de 300 a 500 l/minuto.

Con este proceso se consigue:

- Homogeneización de la composición y temperatura del acero.
- Ajuste de la composición y temperatura del acero.
- Mejora en el rendimiento de ferros, especialmente del aluminio.
- Mejora en la limpieza del acero.

## 2.5. «The vacuum circulation process (VCP o RH)»: Proceso por circulación al vacío

Se utiliza el insuflado de argón como gas propulsor para lograr altos caudales de circulación sin la necesidad de un equipo caro para agitación de la cuchara.

El acero sube así hasta una altura  $\approx$  de 1.450 mm de la cámara, provocándose una recirculación continua a una velocidad aproximada de 1 m/seg.

Las burbujas ascendentes de argón, además de acelerar el acero, arrastran los gases diluidos en él, como el  $H_2$ , CO y  $N_2$ , que al alcanzar en el recipiente hasta velocidades de 6 m/seg. se favorece su eliminación de una forma rápida.

El proceso dura del orden de diez minutos (tres vueltas completas) más otros cinco minutos para aleación y mezcla (fig. 5.5).

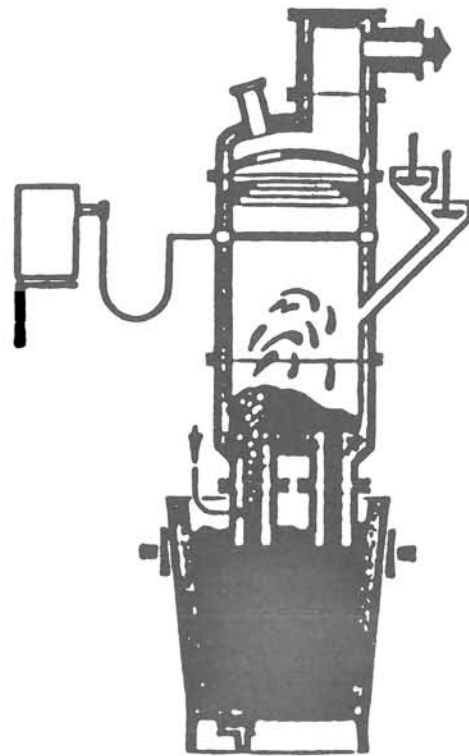


Fig. 5.5.—Proceso por circulación al vacío (VCP, RH).

## 2.6. RHOB

Es el mismo proceso anterior, pero con inyección de  $O_2$  y aluminio. Con él se consigue alto grado de decarburación, obteniéndose carbonos  $< 0,005$  %.

El ajuste de análisis se realiza con aluminio, alcanzándose con este procedimiento ahorros del orden de 0,5 kg/ton. de acero.

Este tipo de instalación es de origen japonés, colocándose por primera vez en Europa en el año 1984 en la factoría holandesa de Hoogovens, IJmuiden, con cucharas de 340 ton de acero y en la actualidad figura entre las nuevas instalaciones de la acería LD-III de Ensidesa (fig. 5.6).

## 2.7. Horno cuchara

Es la estrella de las miniaceras, y base clave para la racionalización del proceso metalúrgico y a la vez económico en el acero común (fig. 6).

Cuando en el congreso de Aachen de 1983 sobre acería eléctrica fueron presentadas varias ponencias sobre los resultados prácticos en diversas acerías, nadie dudó de su rápido desarrollo. A partir de ese momento todas las acerías españolas comenzaron su implantación en sus talleres, y en estos momentos todas las miniaceras españolas disponen de esta instalación o están en vías de colocación.

Con él han podido conseguir las mejoras metalúrgicas buscadas con un alto grado de productividad, asegurándoles la posibilidad de largas secuencias en la colada continua.

Gracias a esta instalación, el horno pudo ser ajustado a un tamaño óptimo con cortos tiempos de fusión y bajísimos consumos energéticos y refractarios, usándose como tal en las llamadas horas eléctricas baratas.

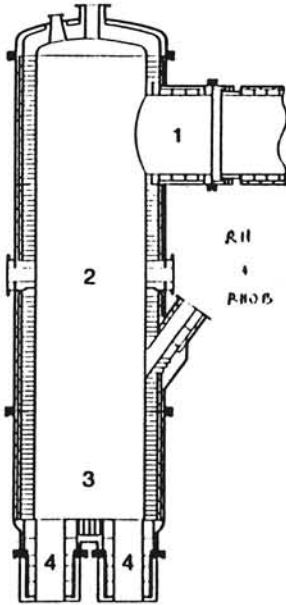


Fig. 5.6.—Proceso RHOB.

Aunque esta nueva instalación les obligaba a todos los aceristas a introducir obligatoriamente la siempre temida variable del insuflado de argón por el fondo, las ventajas técnico-económicas que les aportaba hizo que rápidamente fuera superada esta desconfianza inicial.

La misión del argón en este caso es similar a la descrita en los anteriores procedimientos, haciendo posible la operación de afino y consecución de la calidad buscada en cada caso, con una mejora sustancial de la reactividad de los elementos aleantes y con ello un ahorro considerable de los mismos.

### 3. INYECCION DE ARGON

Hasta aquí se han podido observar diversas formas de realización de la metalurgia secundaria en cucharas, en las que siempre se ha encontrado un denominador común: la inyección de argón en el acero por el fondo de la cuchara.

Igualmente se ha ido indicando diversas funciones de este soplado en las cucharas.

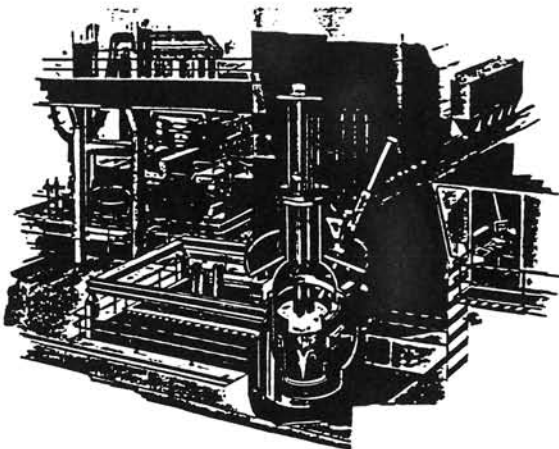


Fig. 6.—Horno cuchara.

A continuación se va a exponer brevemente cómo es el mecanismo físico-químico de actuación del gas argón inyectado en los procesos metalúrgicos, para indicar a continuación algunas de las finalidades del soplado y terminar con los medios materiales utilizados para la inyección del argón; es decir, los materiales refractarios utilizados (fig. 7).

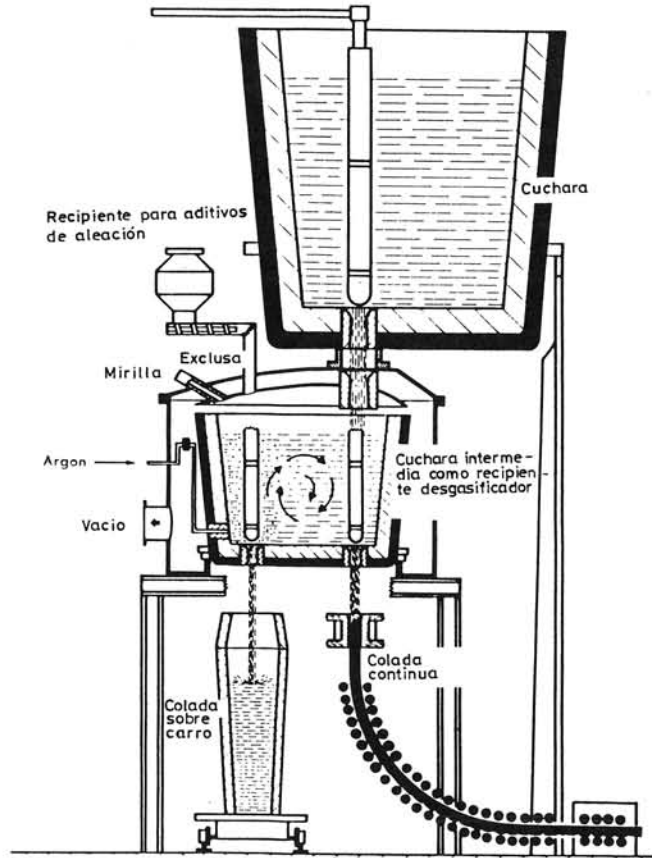


Fig. 7.—Esquema general del proceso de insuflación de argón.

#### 3.1. Forma de actuación del argón en el seno del acero líquido

La acción positiva del argón al ser inyectado en una cuchara de acero está basado en tres propiedades básicas:

- Una actuación puramente física basada en la diferencia de presiones parciales de las burbujas de argón, ascendentes por el metal, y la de los gases perjudiciales disueltos en el mismo, siendo éstos absorbidos y transportados a la superficie por aquél.
- Una acción química: el  $O_2$  se extrae en forma de CO mediante un proceso de oxidación química, desprendiéndose en forma de burbujas. Ahora bien, este proceso se ve claramente favorecido y posibilitado en presencia del argón que actúa como catalizador, aumentando la velocidad de reacción entre el carbono y el  $O_2$  y actuando luego, igual que antes se ha dicho, como absorbente de las burbujas de CO para ascender rápidamente a la superficie de la cuchara.



Estas dos acciones conjuntas son las que actúan en la misión desgasificadora del argón.

- Una acción análoga al de flotación: en las burbujas ascendentes se acumulan las partículas en suspensión de la colada, que serán llevadas hacia arriba a la escoria, originándose una limpieza adicional y automática de la colada.

### 3.2. Formación de las burbujas

La acción desgasificadora citada se ha podido comprobar experimentalmente que resulta muy favorecida con la disminución del diámetro de las burbujas y el aumento del tiempo de permanencia de éstas en la colada.

En la figura 8 se expresa la superficie total de las burbujas de 1 l de gas en función del diámetro de las burbujas.

En realidad estos dos factores están íntimamente ligados, ya que, según la fórmula de Stokes, para una temperatura constante, la velocidad de las burbujas en la colada es proporcional al cuadrado del radio de la burbuja.

Por tanto, burbujas más pequeñas permanecen más tiempo en la colada.

Dada la importancia de este concepto, en los laboratorios refractarios se utiliza como modelo de estudio un tubo de cristal con el fondo de ladrillo y se inyecta a diversas presiones de gas hasta conseguir el caudal requerido, siempre que no lleguen a producirse burbujas individuales e indeseables.

### 3.3. Presión de insuflado de gas

Vista superficialmente la forma en que actúa el argón en el acero, la influencia del tamaño de las burbujas, el caudal

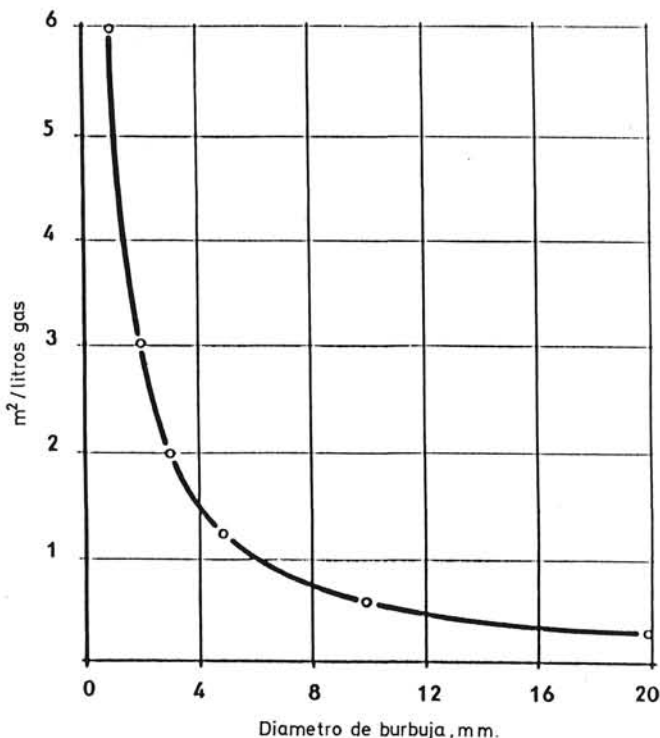


Fig. 8.—Relación entre la superficie total de las burbujas y el diámetro de las mismas.

en función de la presión, se observa cómo la presión de insuflado de gas en una cuchara tiene un mínimo obligado que es el de la presión ferrostática de la cuchara en el fondo. A partir de ésta se regulará según la función a que esté destinada. De una forma generalizada, la norma habitual es una mayor presión inicial, para descender luego a un burbujeo fino que favorezca la eliminación de las inclusiones y partículas de escoria. En la figura 9 se indica un ejemplo sobre este asunto.

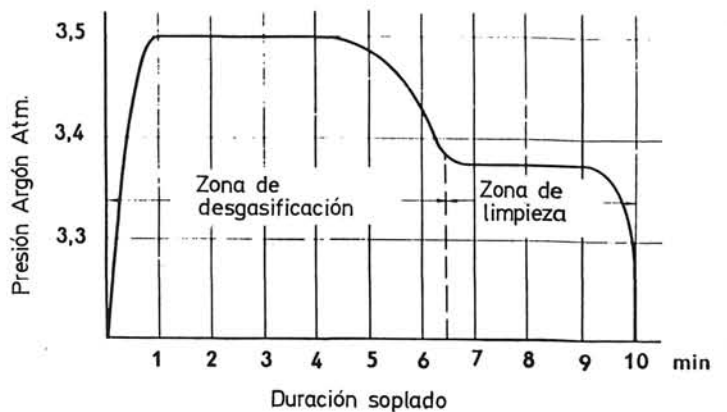


Fig. 9.—Evolución de la presión de insuflado de Ar en función de la duración del soplado.

### 3.4. Lugar de inyección del gas

Partiendo del hecho admitido de la idoneidad del insuflado de gas por el fondo de la cuchara, habría que preguntarse el lugar concreto de ubicación de la fuente de inyección en el fondo. Este estudio fue realizado por Scheubel a base de ensayos con modelos, hechos en el laboratorio de la Escuela Técnica Superior de Darmstadt.

En la figura 10 se representan los ciclos realizados por las corrientes de argón en una cuchara de acero, según la posición de la fuente.

Scheubel demostró, prácticamente, que la acción técnicamente más favorable de las corrientes se logra cuando el ladrillo se encuentra en la mitad del radio del fondo ( $r/R=0,5$ ) y además se recomienda que se sitúe a  $90^\circ$  respecto al agujero de colada con el fin de protegerlo del impacto del chorro de colada.

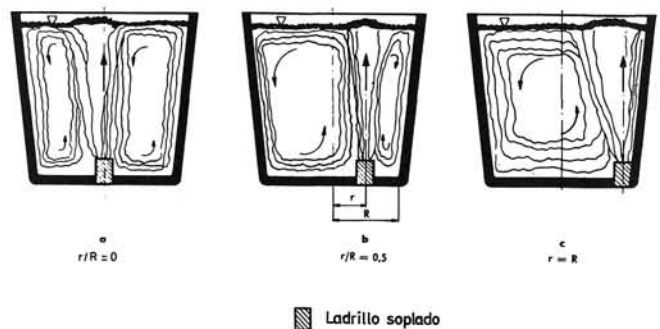


Fig. 10.—Esquema de la circulación del argón en función de la localización del tapón poroso.

### 3.5. Funciones o propiedades del argón en las cucharas de acero

Con los fundamentos antes descritos se pudo estudiar con detalle la acción del argón sobre el contenido de hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, sobre la temperatura de la colada, el comportamiento de la fluidez al colar y sobre el grado de limpieza de los aceros.

Sin entrar en más análisis, en las figuras que siguen están representadas algunas curvas sobre el comportamiento del argón en la eliminación de gases (figs. 11, 12, 13 y 14).

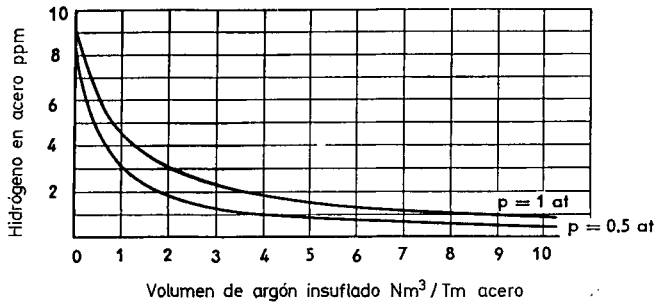


Fig. 11.—Relación entre el volumen de argón insuflado y el contenido de  $H_2$  en el acero.

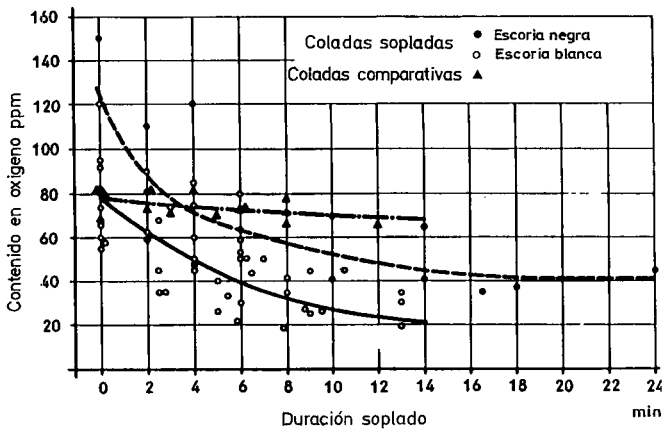


Fig. 12.—Relación entre la duración del soplado y el contenido de  $O_2$  en el acero.

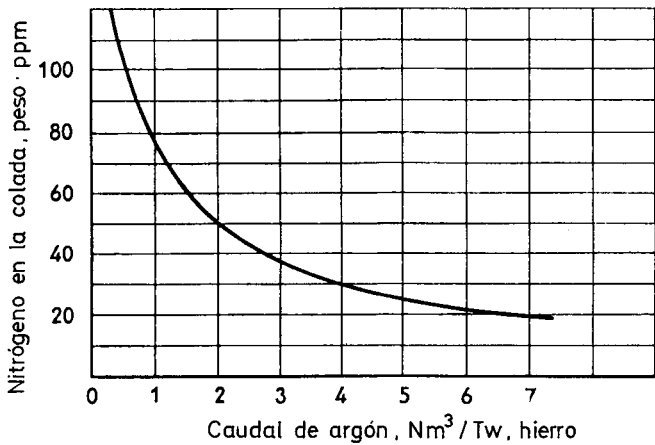


Fig. 13.—Relación entre el caudal de argón y el contenido de  $N_2$  en el acero.

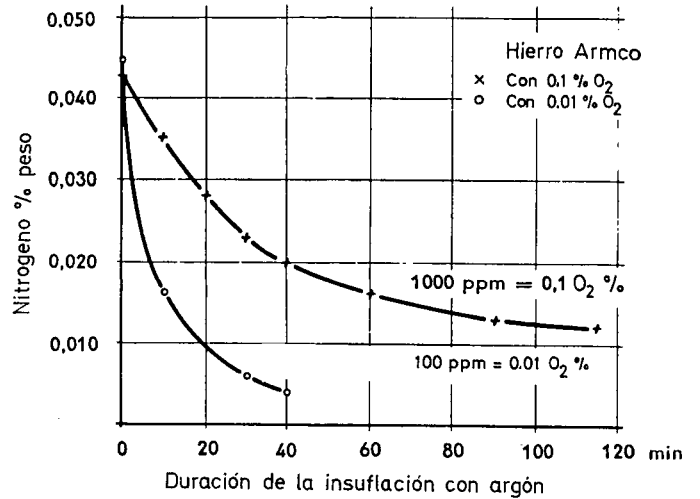


Fig. 14.—Relación entre la duración de insuflación del argón y el contenido de  $N_2$  con el acero.

### 3.6. Pérdida de temperatura de la colada

Es debido a la absorción de calor que realiza el argón introducido al calentarse.

Sin embargo, este aparente fenómeno negativo queda compensado favorablemente por la homogeneización del temperaturas que se alcanza en el acero de la cuchara (fig. 15).

En la figura 16 que sigue, se representa el comportamiento de una colada sin lavar y la lavada en el proceso de soli-

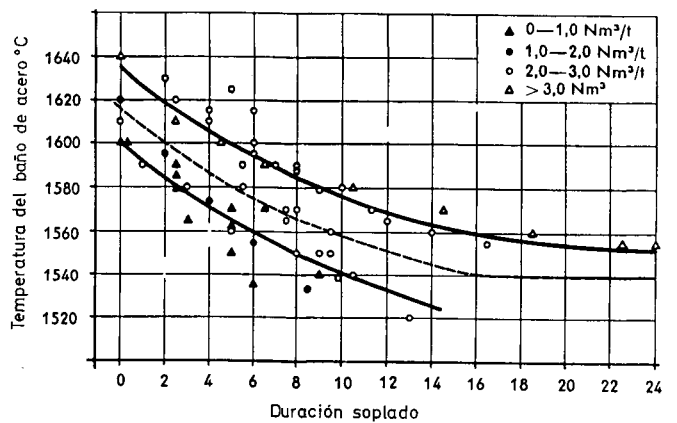


Fig. 15.—Relación entre la duración del soplado y la temperatura del baño de acero.

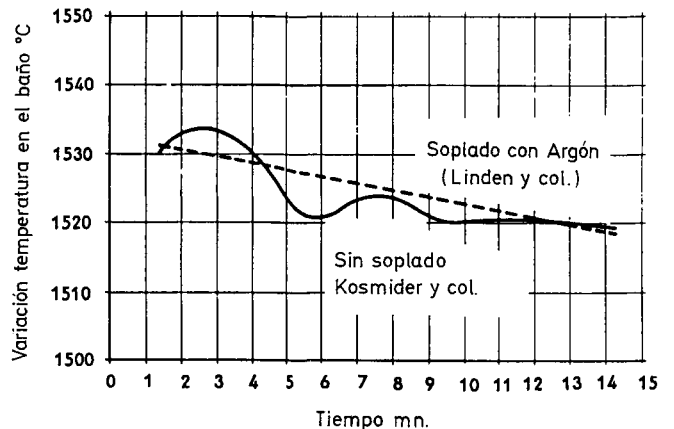


Fig. 16.—Relación entre el tiempo de soplado y la variación de temperatura en el baño.

dificación, apareciendo en el segundo caso elevada cantidad de segregaciones.

Esto se debía a que en una cuchara de acero existe una zona de máxima temperatura y otras denominadas frías (ver fig. 17).

Así durante la colada se producían variaciones de subida y bajada de temperaturas (ver fig. 18) causantes de la formación de segregaciones en la solidificación.

Igualmente se fueron estudiando las influencias positivas del insuflado en la desulfuración de los aceros, eliminaciones de desoxidantes, mejora de la colabilidad de los aceros (se pudo llegar a colar aceros hasta con 40° cc por debajo de lo habitual), como gas protector contra la oxidación durante las diversas fases de la colada, etc. (fig. 18).

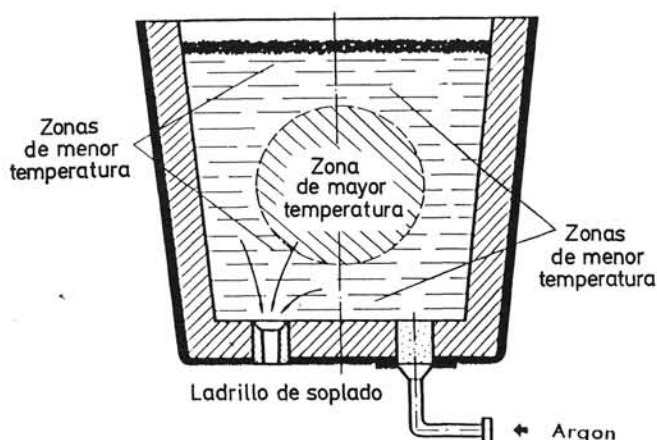


Fig. 17.—Distribución de temperaturas en el interior de la cuchara.

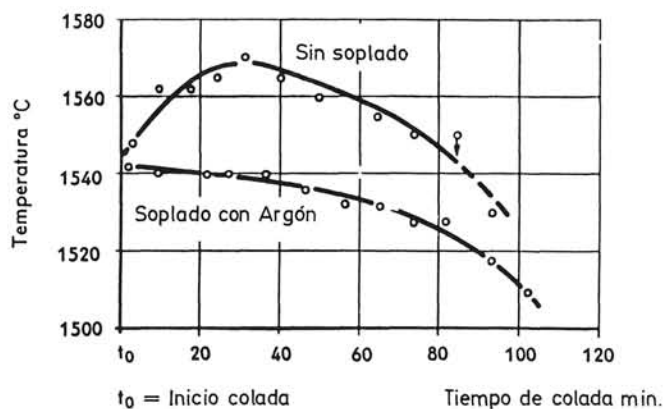


Fig. 18.—Variación de la temperatura en el acero en función del soplado o no de argón.

En resumen, que el insuflado de gas argón en las cucharas de acero como medio necesario para la metalurgia secundaria, aporta importantes ventajas que podemos agrupar en:

#### FINALIDADES DEL INSUFLADO DE ARGON EN LA METALURGIA SECUNDARIA

- Unificación de la caída de temperaturas en la cuchara y ajuste de la misma.

- Mejora de la limpieza del acero al transportar las impurezas no metálicas a la escoria.
- Mejora de la eliminación parcial de los gases como  $N_2$ ,  $H_2$  y  $O_2$ .
- Mejora del rendimiento de los elementos de adición, por ejemplo del aluminio.
- Disminución de la aparición de grandes lobos en las cucharas.
- Como ayuda de agitación en los sistemas VOD, VAD y otros tratamientos de cuchara.
- Mejora de la colabilidad del acero.
- Protección contra la oxidación en colada continua o convencional por atmósfera inerte.
- Como apoyo de los sistemas de desgasificación parcial para reducir la presión parcial del gas a eliminar; por ejemplo, el CO.
- Como ayuda para la introducción de sólidos desulfurantes y desoxidantes por lanzas de inyección.

#### 4. MATERIALES REFRACTARIOS PARA EL INSUFLADO DE ARGON EN CUCHARA

Hasta ahora se ha examinado la importancia del soplado de argón en la metalurgia secundaria, cómo actúa y el lugar por dónde se realiza el insuflado. Nos falta determinar el medio material, es decir, ¿por dónde puede realizarse esta operación?

La respuesta desde el principio siempre fue la misma: a través de los elementos refractarios colocados en el fondo de la cuchara o por medio de lanzas de insuflado por la parte superior.

Dejando aparte este segundo método, ya casi desestimado, es más importante referirse al insuflado por el fondo.

El objetivo del refractarista era el de poder ofrecer a la industria del acero un material que le sirviera para cumplir todas las propiedades indicadas hasta ahora y además:

- debía ser seguro;
- debía ser fiable;
- debía ser permeable, lo suficiente como para dar paso a los gases en un volumen y a una presión necesarios; y
- las burbujas de gas debían ser pequeñas y numerosas para cubrir el mayor área de la superficie metálica en el tiempo más breve posible.

El resultado de largas investigaciones durante más de veinte años tuvo como desenlace final la utilización mayoritaria de refractarios de tipo cónico, normalmente basados en alta permeabilidad, insertados en ladrillos de sujeción (portatapón), colocados en el revestimiento del fondo de la cuchara, como se representa en la figura 19.

El factor determinante que permitió el insuflado de argón fue el poder controlar la permeabilidad.

Se denomina así a la propiedad que tienen los materiales cerámicos porosos para permitir el paso de una corriente gaseosa dirigida como resultado de una diferencia de presión.

Se determina según la siguiente fórmula:

$$Ds = \mu \frac{V}{t} \times \frac{h}{A \times \Delta p}$$



$V$  = cantidad de gas en  $\text{cm}^3$

$t$  = duración en minutos

$h$  = altura o espesor de la capa permeable en  $\text{cm}$

$A$  = sección de la probeta en  $\text{cm}^2$

$\Delta p$  = diferencia de presión mantenida constante en  $\text{cm}$  colada de agua

$\mu$  = viscosidad dinámica del gas en Poise ( $\text{g}/\text{cm}/\text{s}$ )

y la medida utilizada es el Nanoperm ( $\text{InPm} = 10^{-9}$  Perm).

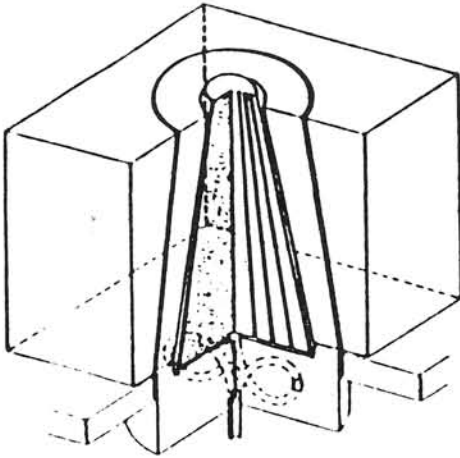


Fig. 19.—Sistema portatapón-tapón poroso.

Con este punto de partida teórico había que buscar un refractario con permeabilidad suficiente, ya que los ladrillos conocidos no podían ofrecer flujo suficiente.

Hacia los años sesenta se desarrollaron los primeros refractarios porosos, en formatos idénticos a los utilizados para los fondos de las cucharas (fig. 20).

Este ladrillo se colocaba como uno más del fondo de la cuchara y como su permeabilidad no cubría las exigencias requeridas, los primeros pasos se dirigían a colocar varios de estos ladrillos en el fondo de la cuchara.

Los problemas que planteaban estos sistemas eran de gran complejidad.

A pesar de ello, se utilizaron, y los refractarios siguieron investigando la mejora de las permeabilidades de los mate-

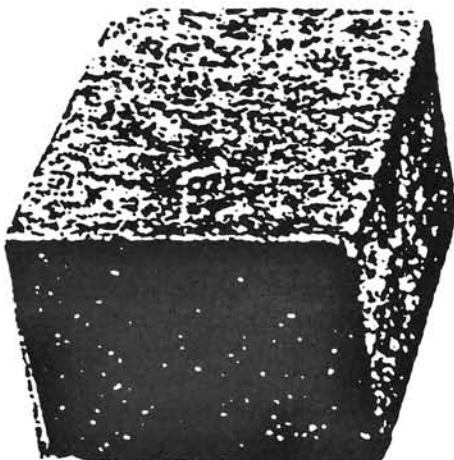


Fig. 20.—Refractario poroso.

riales y formas geométricas hasta poder alcanzar los conocidos cónicos actuales en los que se equilibran las porosidades de los tapones con la resistencia al desgaste y que permitieron de forma clara el avance de la metalurgia en cucharas (fig. 21).

Dada la variedad en los tipos de tapones porosos existentes, se describen únicamente las modalidades generales de ladrillos utilizados actualmente en el mercado: todos de forma cónica y envueltos en chapa (fig. 22).

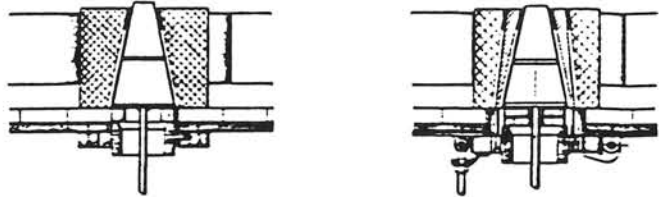


Fig. 21.—Sistemas de aplicación del tapón poroso.

#### 4.1. Ladrillo denso con junta

La inyección del argón se realiza entre la junta que se deja entre la envolvente metálica y el propio ladrillo denso por medio de separadores metálicos o por medio de una fibra cerámica de alta calidad.

Aunque presentan gran resistencia al desgaste, se requieren elevadas presiones de gas y se obtura con bastante facilidad (fig. 22a).

#### 4.2. Ladrillos porosos

La inyección del gas se realiza a través de la propia textura permeable del ladrillo. Puede combinarse con la colocación de junta entre la coraza metálica y el tapón para aumentar el caudal de insuflado. En general presenta buenas características y es el tipo de tapón más utilizado en el mercado, combinando de forma bastante equilibrada el caudal de gas necesario, la presión adecuada de insuflado y la resistencia al desgaste, que lógicamente es inversamente proporcional a la permeabilidad del ladrillo (fig. 22b).

#### 4.3. Ladrillos direccionales

El insuflado se realiza a través de canales de diámetro muy pequeño realizados en el interior de ladrillos compactos. Dado que los diámetros de estos agujeros tienen que ser minuciosamente seleccionados para que no pueda penetrar el acero, no se alcanzan buenos rendimientos de soplado y resultan bastante delicados (fig. 22c).

#### 4.4. Tapones de laberinto

En estos dos últimos años, el departamento técnico de Didier, S. A. ha venido desarrollando y experimentando este nuevo tipo de refractario con bastante aceptación.

Consiste en la introducción de una zona reticular dentro

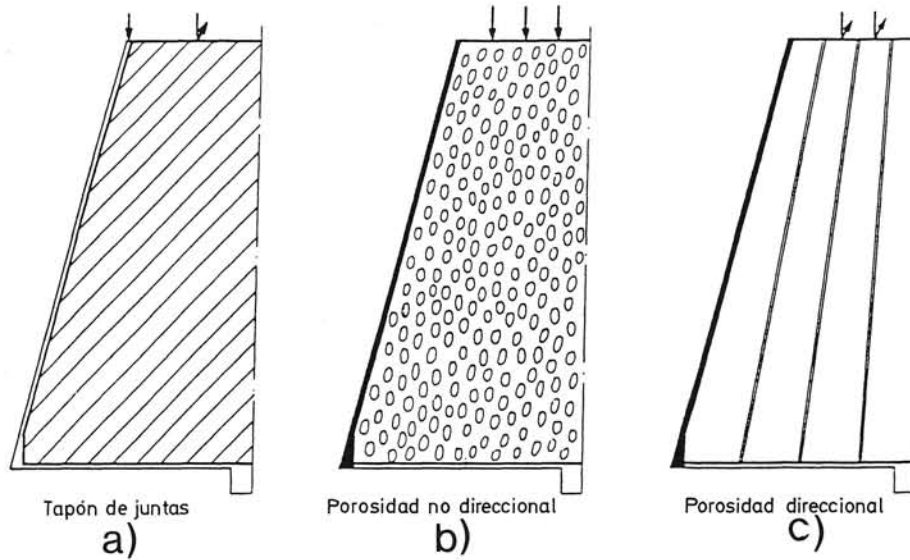


Fig. 22.—Evolución del diseño de los tapones porosos.

de un ladrillo denso, a través de la cual se realiza el insuflado de argón (fig. 23).

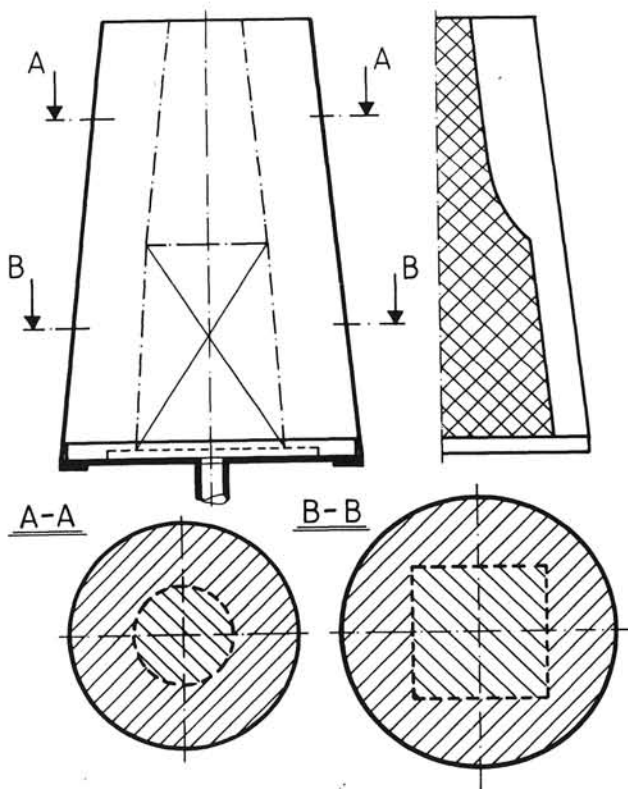
Con objeto de obligar a que la corriente de gas circule exclusivamente por esta red, la envolvente metálica se coloca por embutición.

Incluye en su concepción el método de control óptico de desgaste, basado en un cambio de sección de la zona

reticular de circular a cuadrada, estando esta última situada a 130 mm de la base del tapón.

Con este tipo de tapón se han conseguido flujos de 650 l/min a una presión de tres bares, y ya son varias las acerías que están utilizando o probando este tipo de tapón.

Si se recoge en un gráfico las relaciones estándar entre presión y caudal de los diferentes tipos de refractarios estudiados, nos encontramos con la gráfica de la figura 24.



Tapón de laberinto

Fig. 23.—Tapón poroso de laberinto.

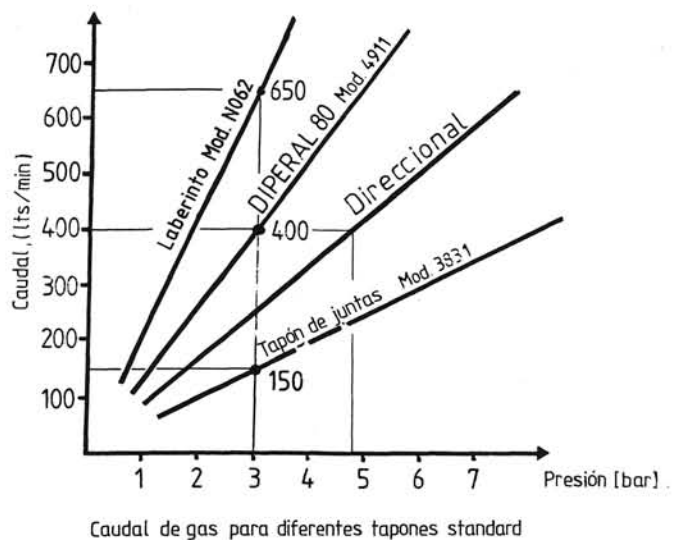


Fig. 24.—Variación de los caudales de gas para diferentes tapones standard.

En función de este gráfico se ve que los tapones porosos siguen siendo perfectamente válidos para el mercado y aunque son muy esperanzadores los resultados de los de laberinto, por su mayor coste y ser aún de uso poco generalizado, para casos normales siguen siendo los más idóneos, dejando los de laberinto para casos especiales.

Las figuras que vienen a continuación son representativas de las diversas técnicas de colocación, limpieza y recambio de las piezas porosas (fig. 25).

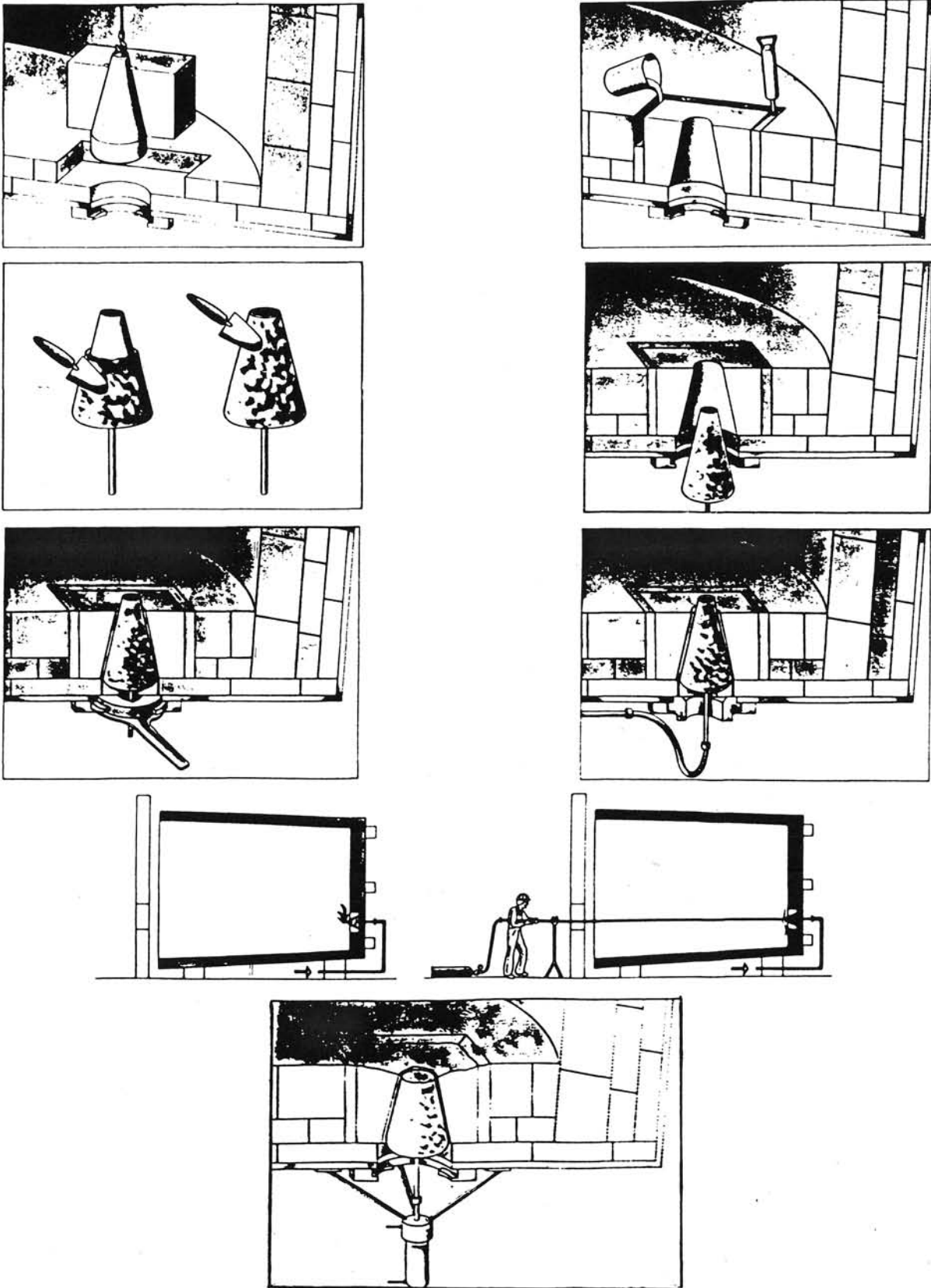


Fig. 25.—Diferentes sistemas de colocación, limpieza y su cambio de tapones porosos.

Finalmente, me gustaría decir que, como refractaristas, nuestra misión es la de poder ofrecerles a los aceristas, verdaderos protagonistas de la metalurgia, unos refractarios que puedan responder a las necesidades requeridas, sabiendo des-

de el principio que, aunque son necesarios, no son más que uno de los muchos elementos que intervienen en el complejo campo de la metalurgia del acero.

## PRESENTACION

El objeto del presente libro es ofrecer una visión panorámica sobre las investigaciones llevadas a cabo en centros universitarios o industrias de cerámica y vidrio pertenecientes a Extremadura. Los temas que se recogen en esta obra muestran los trabajos originales de investigación presentados en Mérida en la XXVII Reunión Anual de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. Por primera vez en su historia, esta Sociedad tuvo la amabilidad de acceder a la invitación de diversos sectores académicos y sociales extremeños para que su XXVII Reunión Anual se celebrara en Extremadura, en donde existe una gran tradición alfarera, grupos de investigación universitarios interesados por el estudio de los materiales cerámicos y del vidrio o sus materias primas y un incipiente desarrollo industrial en este sector que es de esperar se potencie en los próximos años.

## INDICE

### INTRODUCCION

#### I. MATERIAS PRIMAS:

*Materias primas cerámicas de la provincia de Badajoz: Geología, mineralogía y aplicaciones.* J. M<sup>a</sup> Mesa López-Colmenar.

*Yacimientos extremeños de minerales de interés gemológico.* J. García Guinea.

*Propiedades cerámicas de las arcillas de Alange, Garlitos y Monterrubio de la Serena (Badajoz).* J. M<sup>a</sup> Mesa López-Colmenar, P. J. Sánchez Soto y G. García Ramos.

*Mineralogía y aplicaciones en Cerámica y Vidrio de dolomías de la provincia de Badajoz.* F. J. Liso, E. Galán, M. J. Liso e I. González.

#### II. MATERIALES CERAMICOS ANTIGUOS:

*Las terracotas del Museo Nacional de Arte Romano de Mérida.* E. Gijón Gabriel.

*Los vidrios romanos del Museo Nacional de Arte Romano de Mérida.* P. Caldera.

#### III. CERAMICA INDUSTRIAL Y AVANZADA:

*Aspectos teórico-prácticos aplicables al sistema escayola-barbotina-pieza colada.* J. Viéitez Vázquez.

*Configuración de fisuras introducidas por indentación sobre caras (100) de zirconia estabilizada con  $Y_2O_3$  (9,4 mol %). Estimación de la tenacidad.* F. Guiberteau, A. Pajares y A. Domínguez-Rodríguez.

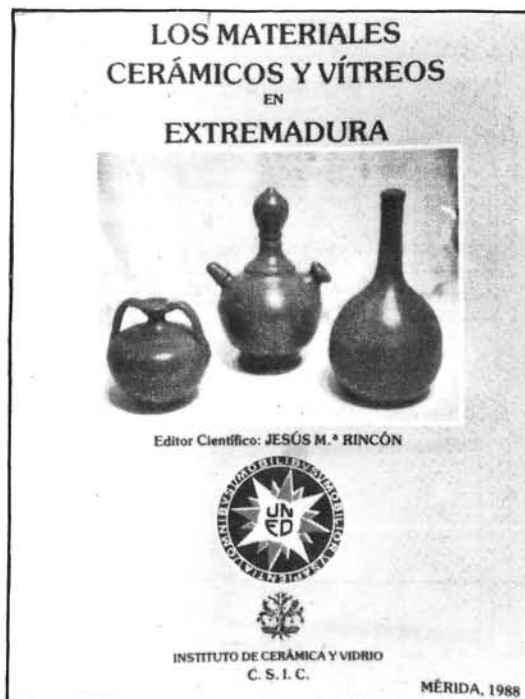
*Pérdidas dieléctricas y conductividad iónica de monocristales de  $ZrO_2$ -9,4 m/o  $Y_2O_3$  totalmente estabilizados.* J. D. Sollier, A. Domínguez-Rodríguez, M. A. Pérez Jubindo y M. R. de la Fuente.

#### IV. APENDICE:

*Rocas y minerales de Extremadura como posibles materias primas para la fabricación de materiales cerámicos y vidrios: una revisión.* J. M<sup>a</sup> Rincón López.

### INDICE DE AUTORES

### INDICE DE TEMAS



Así pues, esta monografía editada conjuntamente por la UNED, Centro Regional de Mérida y el Instituto de Cerámica y Vidrio del CSIC, pretende mostrar el interés que existe en Extremadura por el estudio de sus recursos naturales y el incipiente desarrollo científico-técnico de la cerámica y el vidrio en esta región. Es de esperar que sirva, además, para promover la investigación científica sobre estos materiales entre los universitarios extremeños y el interés de profesionales de otras regiones por la explotación de los recursos que ofrece la región extremeña.

PRECIO: 2.000 ptas. socios de la SECV  
3.000 ptas. no socios  
(IVA + gastos de envío, aparte)

Pedidos a: SECV  
C/ Ferraz, 11, 3º izq. MADRID  
o a: Carretera de Valencia, km 24,300  
ARGANDA DEL REY (Madrid)