

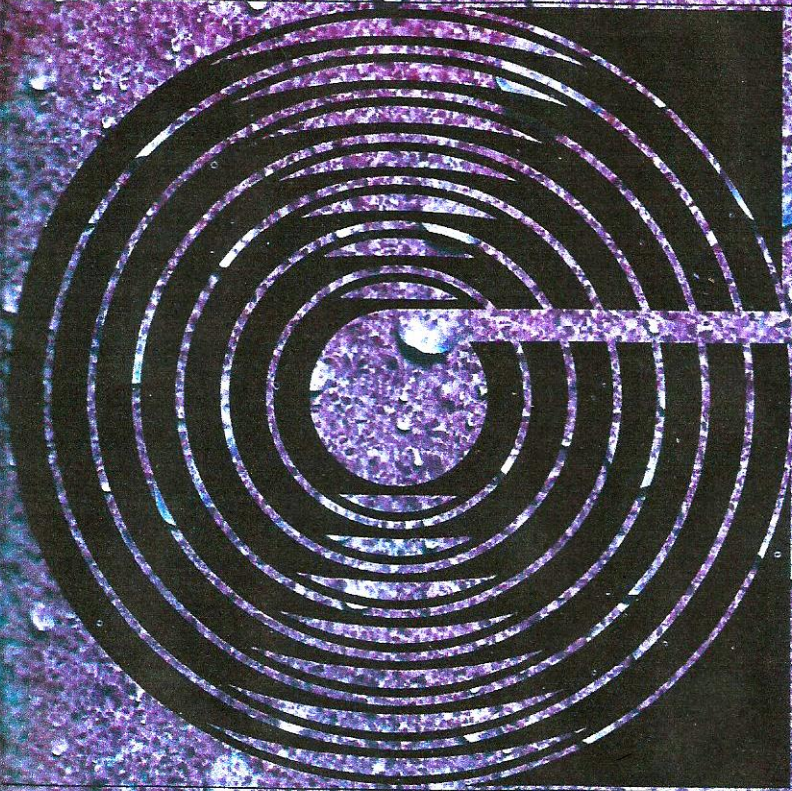
DYNA



ORGANO OFICIAL
DE LA FEDERACION
DE INGENIEROS
INDUSTRIALES
DE ESPAÑA
Y MIEMBRO DEL
INSTITUTO DE LA INGENIERIA

Galvalange aluzinc

NUEVA CHAPA DE ACERO REVESTIDA
DE ALUMINIO Y ZINC COMBINADOS



JORNADA DE
INFORMACION TECNICA
20-1-1983 - 12 H. AM
HOTEL EUROBUILDING
MADRID

TRADE ARBED LUXEMBURGO
BLITZ Y PARSEUR - MADRID-9
TELF. 401 61 54

CONTRIBUCIONES A LA OPTIMIZACION DEL PROCEDIMIENTO OPEN-COIL*

Ignacio Ibarrodo Martínez-Iturralde, Dr. I.I.

C. D. 621-41: 669.057

1.—INTRODUCCION

Este procedimiento nació como consecuencia de un intento de mejorar los procedimientos de recocido de la chapa destinada a hojalata, ya que hasta 1930, prácticamente toda la hojalata que se consumía en el mundo, se obtenía mediante recocidos en hornos de campana. A partir de la Segunda Guerra Mundial, la enorme demanda en este sector, impulsó a la creación de hornos continuos, que si bien incrementaban grandemente la producción, no podían suministrar la calidad suficiente cuando se trataba de embuticiones difíciles. El procedimiento Open-coil nació como consecuencia de buscar un recocido que eliminase los inconvenientes de ambos.

La concurrencia en dicho procedimiento de las dos circunstancias siguientes:

1. El gran interés científico del procedimiento, en el que se combinan "simultáneamente" los siguientes procesos:

- Difusión del carbono en el interior del acero.
- Reacción superficial entre el carbono y el vapor de agua absorbido en la superficie de la chapa procedente de un fenómeno de transferencia de materia.
- Fenómeno de transferencia de monóxido de carbono entre el *bulk* y la interfase.
- Eliminación del monóxido de carbono de la atmósfera de la

base.

— Interacción de las atmósferas reactantes en el proceso de decarburación.

— Condiciones de carga y separación entre espiras.

2. El enorme interés de las aplicaciones industriales del mismo ya que la enorme versatilidad del procedimiento industrial que permite:

- a) Recocidos convencionales.
- b) Recocidos decarburantes de diversos tipos.

Hacía prever la obtención de una serie de nuevos productos del máximo interés para nuestro país, que no puede permitirse instalaciones específicas para cada uno de ellos, como es el caso de los hornos continuos para la fabricación de chapas magnéticas de grano orientado y no orientado y las líneas continuas C.A.L.P. con producciones superiores a las 50.000 tn/mes, para la obtención de chapas con destino a embuticiones extraprofundas.

Fue la conjunción de ambas circunstancias, lo que me llevó a considerar el estudio de la optimización de dicho procedimiento, como motivo del presente trabajo, ya que dicha optimización es un requisito indispensable y previo a cualquiera de sus aplicaciones industriales.

Mediante el estudio y análisis de cada uno de los procedimientos mencionados anteriormente, se trata de optimizar la fase activa del proceso decarburante, corre-

lacionando dichos tiempos con los contenidos finales del carbono en el acero base, pudiendo verse en la fig. 1, la relación de los distintos procesos que componen el fenómeno de la decarburación, así como los diversos parámetros que intervienen en ella.

2. ESTUDIOS TEORICOS REALIZADOS

2.1 Estudio del proceso de difusión

Vamos a estudiar primeramente el fenómeno de la difusión, así como los parámetros que intervienen en ella, tales como:

- a) Composición química de la materia prima.
- b) Temperatura de decarburación.
- c) Espesor de la chapa a decarburar.
- d) Condiciones de la superficie reactante y separación entre espiras.

Para el estudio de este fenómeno, el autor ha recurrido a los trabajos propuestos por Jost¹ y Kor², los cuales consideran un modelo de difusión en un medio semi-infinito de dos fases; la fase II (ferrita), creciente desde la superficie de la chapa y las fases I y I' (ferrita y cementita) a expensas de las cuales crece la fase II (ferrita), modificándolos y aplicándolos al caso de nuestras decarburaciones.

La primera de estas modificaciones, basada en el modelo fi-

*El presente artículo fue defendido por el autor como Tesis Doctoral, en la E. S. de I.I. de Bilbao. Siendo su director D. José María Palacios, Catedrático de la mencionada escuela, a quien el autor expresa su agradecimiento.

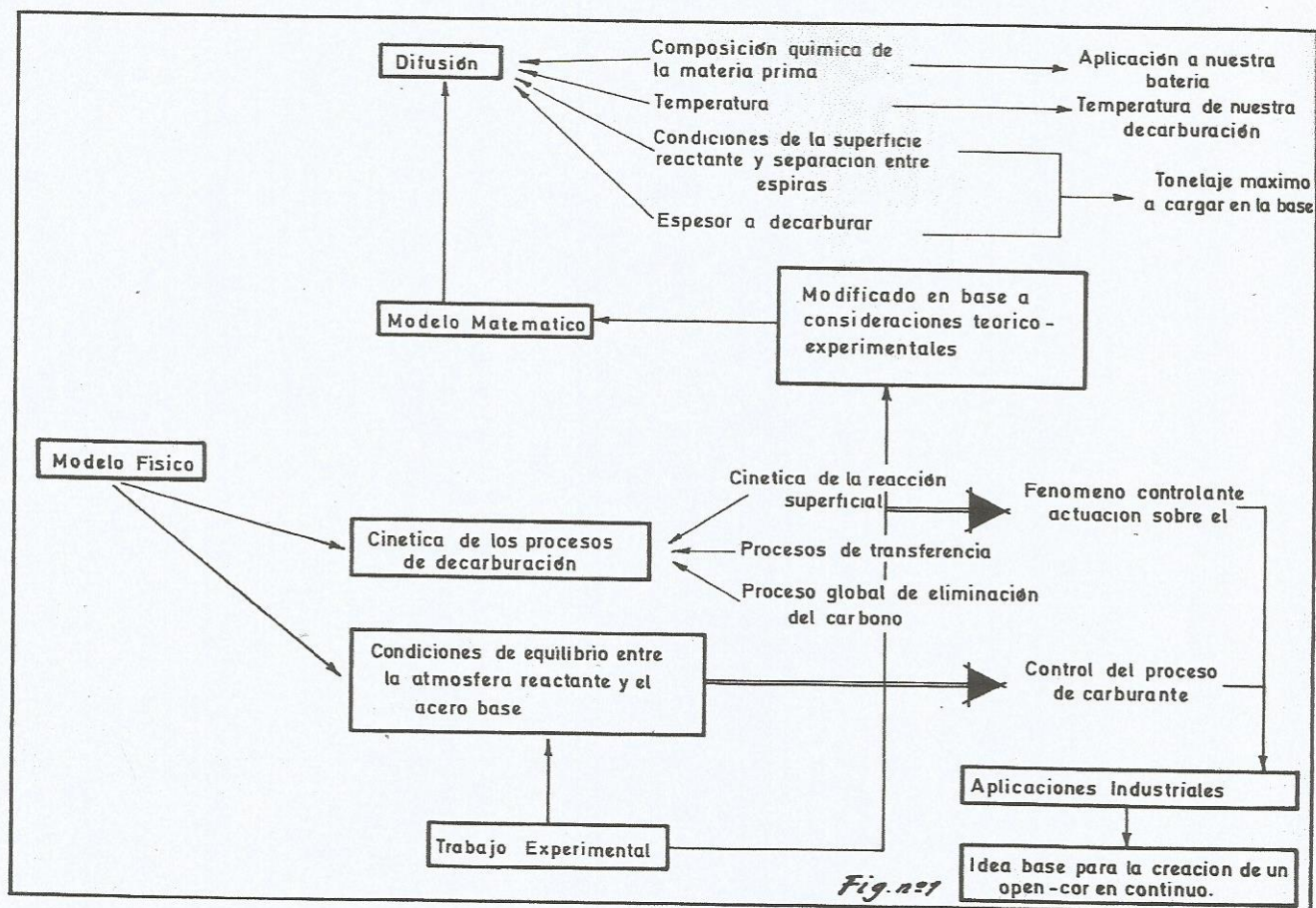


Fig. n.º 1

sico y consideraciones en el equilibrio desarrolladas por el autor y consistentes en considerar el carbono en superficie distinto de cero, siendo dicho contenido de carbono función del % de monóxido de carbono en la superficie y de la temperatura, da como resultado para el tiempo máximo de la primera fase de la decarburación, en la cual la interfase ha alcanzado el centro de la chapa, la siguiente expresión:

$$t_{\max} = \frac{d^2}{4 \cdot \gamma^2 \cdot D_C(\theta)}$$

Será a partir de este instante cuando introduciré la segunda modificación sobre los estudios base del fenómeno de la difusión, ya que la solución matemática deja de ser válida para los contenidos de carbono extraordinariamente bajos de nuestras decarburaciones, dado que toda decarburación sucesiva, no será

ya la difusión de una fase creciente en un conjunto de dos fases, sino que se tratará de la difusión de un elemento, cual es el carbono, en un medio compuesto por una sola fase, me basaré para ello en los trabajos efectuados por el profesor Enrietto³ y los estudios base de Jost⁴, sobre la difusión de un elemento en una sola fase, modificándolos y aplicándolos al caso de nuestra decarburación.

De conformidad con esto, se obtienen para los tiempos de decarburación en esta segunda fase del proceso:

$$t_2 = \frac{4 \cdot d^2}{\pi^2 \cdot D_C(\theta)} \cdot \left(\ln \frac{8}{\pi^2} - \ln \frac{C_2(t)}{C_1(t_{\max})} \right)$$

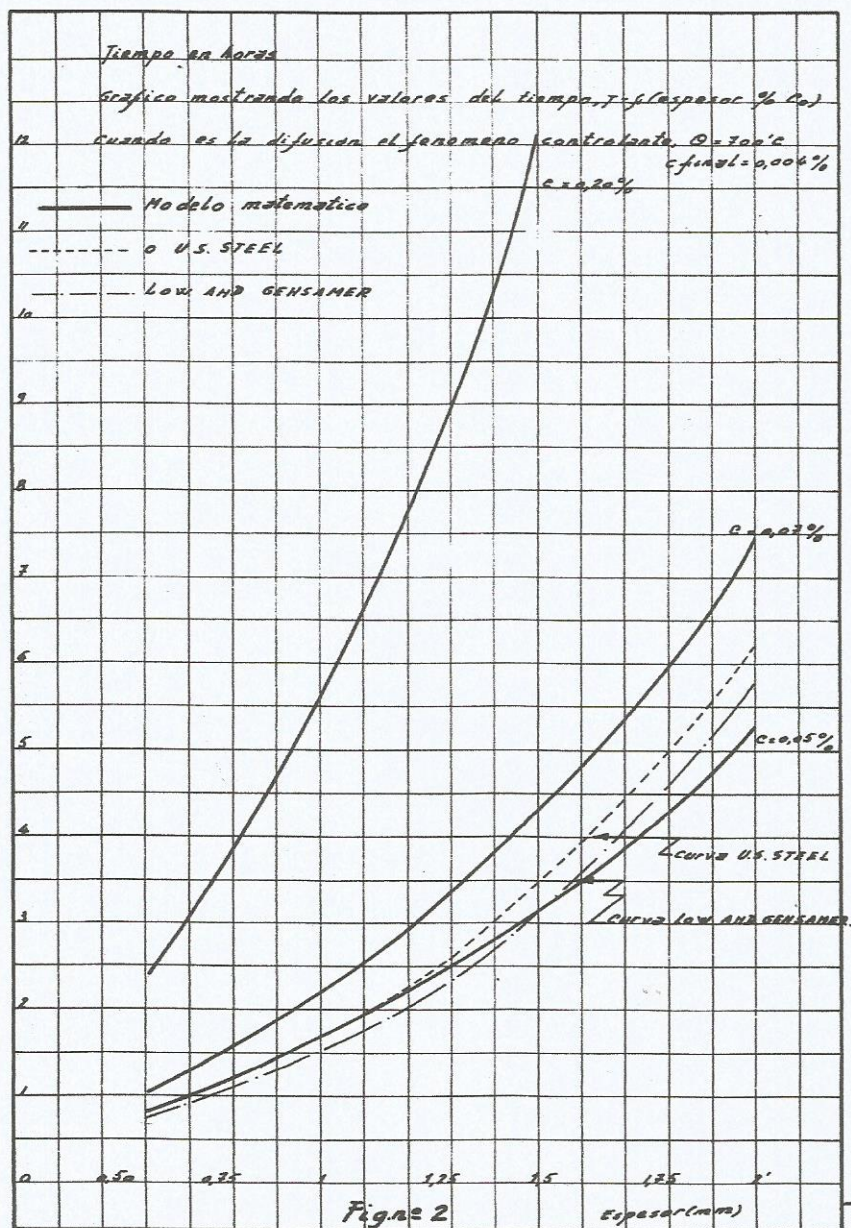
En la fig. 2 tenemos los tiempos de difusión, calculados por el autor para diferentes contenidos de carbono inicial, comparándolos

los con los obtenidos experimentalmente por Low Gensamer⁵ y U. S. Steel, pudiendo apreciarse que la concordancia es francamente buena.

En esa misma figura podemos ver que para un caso normal de nuestras decarburaciones, como puede ser una chapa de 1 mm. de espesor y contenidos inicial y final de carbono de 0,007 % y 0,004 % respectivamente, el tiempo de decarburación correspondiente al fenómeno de difusión será de 2 horas 15 min., tiempo enormemente inferior a los obtenidos en la realidad durante un proceso industrial.

Deduciéndose que:

1) Contrariamente a lo expuesto, en la práctica totalidad de la bibliografía publicada sobre el procedimiento de decarburación Open-coil, de los estudios realizados por el autor, cabe considerar que el procedimiento a nivel industrial no está controlado por el fenómeno de la difusión del carbono en el acero.



2) El control por parte de la difusión, solamente se producirá cuando operemos en condiciones similares a las del laboratorio, es decir cuando tengamos:

- Caudales de remoción suficientemente altos, como para asegurar en todo momento un contenido de monóxido de carbono en la atmósfera del horno no superior a algunos centenaes de p.p.m.
- La necesaria presión de vapor de agua en el *bulk*, que nos garantice la transferencia de vapor de agua a la interfase, en cantidad suficiente para que se produzca la reacción super-

ficial.

3) Cabe desechar por lo tanto, toda extrapolación sobre la fase activa del proceso, basándonos en consideraciones hechas sobre ensayos realizados a nivel de laboratorio, donde es la difusión el fenómeno controlante.

2.2. Estudio de la cinética del proceso global de decarburación y fenómenos de transferencia en la interfase

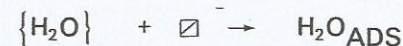
Estudiaremos seguidamente la cinética del proceso global de decarburación, así como los fenó-

menos de transferencia en la interfase.

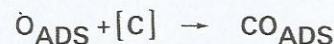
Para ello propondré en base a mis estudios, la siguiente secuencia de procesos:

- 1) Difusión del carbono desde el interior hacia la superficie (visto anteriormente).
- 2) Aportación del vapor de agua a la atmósfera de la base.
- 3) Transferencia del vapor de agua de la fase gaseosa hacia la fase sólida a través de la interfase.
- 4) Reacción propiamente dicha y que comprende las siguientes etapas:

a) Adsorción del vapor de agua en la superficie de la chapa.



b) Reacción en superficie.



c) Desorción del monóxido de carbono.



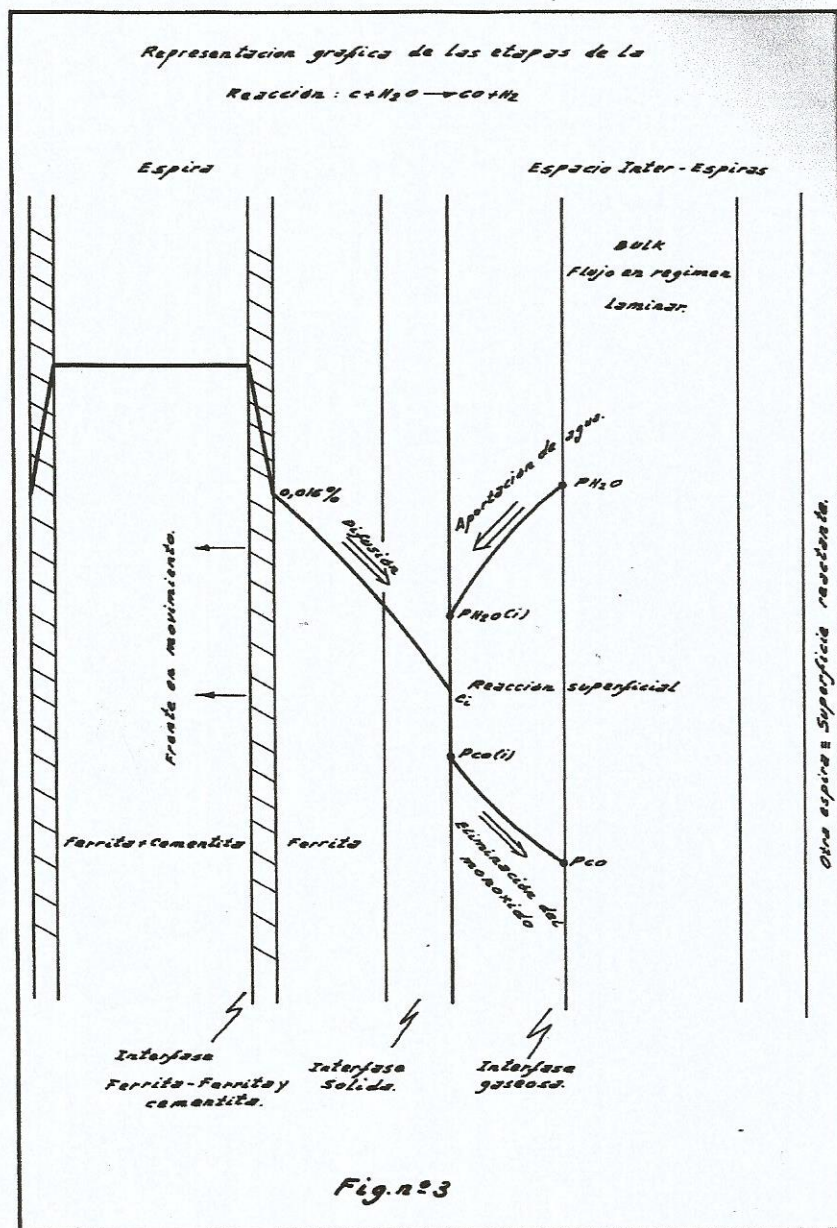
5) Transferencia del monóxido de carbono de la fase sólida a la fase gaseosa, a través de la interfase.

6) Eliminación del monóxido de carbono mediante barrido de la atmósfera del horno.

En la Fig. 3, puede verse la representación gráfica propuesta por el autor sobre la secuencia dada anteriormente.

En lo que se refiere a la cinética de la reacción propiamente dicha, la aplicación de los trabajos de Grabke⁶ a las condiciones de nuestra decarburación Open-coil, nos llevan a considerar que no es la reacción superficial "en sí misma" el fenómeno controlante de la decarburación.

Por lo que respecta a los fenómenos de transferencia y ante la imposibilidad de determinar directamente los coeficientes globales de transporte de masa, mediante la analogía existente entre los fenómenos de transmisión de calor y transferencia de materia, ya que, contrariamente a lo que podría suponerse, dado el alto caudal de remoción interna de las turbinas, el flujo en el interior de los espacios interespiras se desarrolla en régimen laminar. Debemos por lo tanto resolver el problema de transferencia de materia, mediante un estudio global de



las diversas etapas que componen el proceso.

$$\dot{N} = K_C (C - C_{(i)}) = K_{CO} (P_{CO(i)} -$$

$$P_{CO}) = K_{H_2O} (P_{H_2O} - P_{H_2O(i)})$$

Estudiando este proceso global en las siguientes condiciones:

a) Asimilaremos el transporte de carbono desde el interior de la chapa a la interfase, al fenómeno de transmisión de calor por conducción, y los fenómenos de eliminación del monóxido de carbono y aporte de vapor de agua a la transmisión de calor por convección.

b) Consideraré alcanzado el equilibrio en la interfase gas metal.

c) Colocaré "teóricamente" el pro-

ceso en condiciones similares a las de un ensayo de laboratorio, empleando consecuentemente los tiempos deducidos del modelo matemático de difusión, para la determinación del coeficiente global de transporte del monóxido de carbono.

La resolución del sistema anterior con las condiciones propuestas, nos lleva a deducir que el proceso de decarburación no está controlado por los fenómenos de transferencia de materia. Siendo necesario reconsiderar las conclusiones de los profesores Yong-Wu Kim y H. P. Leckie⁷, los cuales consideran el proceso bajo control de los fenómenos de transferencia de materia.

Tampoco puede afirmarse, contrariamente a lo expuesto en numerosa bibliografía publicada sobre el procedimiento de decarburación Open-coil, e incluso el Know-Kow originario de Lee-Wilson^{8,9} que exista una "proporcionalidad directa" entre la cantidad de vapor de agua aportada a la base y los tiempos de decarburación.

No siendo por lo tanto medibles de forma directa, los tiempos de decarburación en la fase activa del proceso, nos veremos obligados a realizar el control de la decarburación mediante un procedimiento indirecto, cual es el control del monóxido de carbono y del punto de rocío en el interior de la base.

3. NUEVOS PRODUCTOS OBTENIDOS

Como consecuencia de los estudios teóricos, fue posible realizar por primera vez en nuestro país, una serie de experiencias conducentes a la obtención de una gama de nuevos productos decarburados, con contenidos finales de carbono variable, para distintas aplicaciones industriales entre las que cabe citar:

- Chapa decarburada para su aplicación a la esmaltación directa en una sola capa.
- Chapa comercial decarburada para aplicaciones eléctricas.
- Chapa al silicio decarburada para aplicaciones eléctricas.
- Chapa estabilizada-decarburada con destino a embuticiones extraprofundas.
- Aplicaciones de la batería open-coil a la obtención de chapa azulada.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.—W. J. Jost: Diffusion in solids and gases. Academic Press New-York, pp. 68-72
- 2.—Kor: The simultaneous decarburization and denitriding of steel strip at 700 °C in gas mixtures of hydrogen and water vapor. J. Iron and Steel Institute. Oct. 1969, pp. 1.379-1.381
- 3.—Enrietto: Strain aging and denitriding in steels. Journal of the Iron and Steel Institute March 1966, pp. 252-258.
- 4.—W. J. Jost: Referencia 1, pp. 1.140.

5.—J. R. Low and M. Gensamer: Aging and the yield point in steel. A.I.M.E. Technical Publication N.º 1.644, 1943 (10) pp. 22.

6.—Grabke: Kinetik und mechanismen der oberflächenreactionen bei der auf-und entkohlung und auf-und entstückung von eisen in gasen. Arch Eisenhüttenwes 46, 1975, n.º 2 February (75-81) pp. 79.

7.—Yong-Wu-Kin, H. P. Leckie: An analysis of the open-coil decarburization of steel. Metallurgical transactions, Vol 6 B, June 1975 (303-310) pp. 303.

8.—J. C. Zinn: Información suministrada al autor por Heurtey Metallurgie (Concesionario de Lee Wilson). Heurtey Metallurgie. 15 Rue Galvani 75017 París.

9.—R. R. Hill. Información suministrada al autor por Lee-Wilson Engineering Co. (25 abril-1979). Lee-Wilson Engineering Co. 20050 Lake Road Cleveland Ohio 44116.

EL AUTOR



IGNACIO IBARRONDO MARTINEZ-ITURRALDE

Cursó sus estudios de Ingeniero Industrial en la E.T.S.I.I. de San Sebastián, revalidando posteriormente sus estudios en la de Bilbao.

En 1974 ingresó en Laminaciones de Lesaca (Grupo Altos Hornos de Vizcaya), donde ocupó la Jefatura de Estudios Metalúrgicos, dirigiendo el montaje y puesta a punto de diversos laboratorios, siendo de mencionar el destinado al análisis y control de calidad de tuberías para la conducción de gas y petróleo.

Profesor de Física Teórica en la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de San Sebastián.

transmisión de movimiento

- variación
- reducción
- frenaje
- embragaje

Variadores de velocidad	FU
Acoplamientos elásticos	FU
Limitadores de par	FU
Variadores de velocidad	ZERO-MAX
Dinamos tacométricas	ZERO-MAX,
Frenos de disco industriales	TWIFLEX
Embragues mecánicos	VG
Embragues y frenos neumáticos	AIRFLEX
Correa trapezoidal a eslabones	MANHEIM
Acoplamientos elásticos	GEISLINGER
Manguitos expansibles de acopl.	TRANTORQUE

FU

ATA

VARIADOR DE VELOCIDAD "FU" IBERICA, S.L.

DOMICILIO SOCIAL, DIRECCION, VENTAS Y OFICINAS:
Trafalgar, 4, planta 5 B - Tel. 318 80 00 - BARCELONA-10
Telex: 51288 FUIB - Telegramas: VARIAFU
Almacén: Diputación, 349 - BARCELONA-9