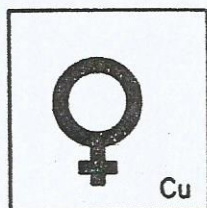
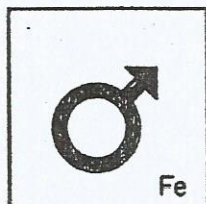


Pb



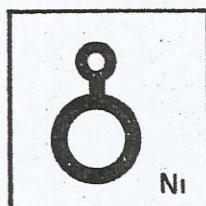
Cu



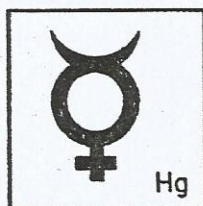
Fe



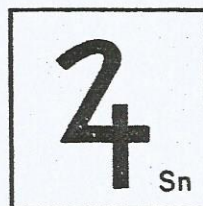
Zn



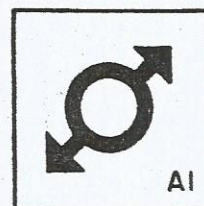
Ni



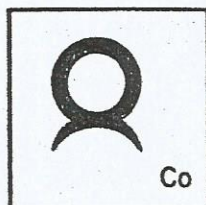
Hg



Sn



Al



Co

GASAMBLEA GENERAL DEL CENIM

MADRID 8-11 OCTUBRE 198

**Versiones Abreviadas
de los
Trabajos Presentados**

Jueves 10 de octubre

(jornada de tarde)

Jueves, 10 de Octubre

Sección 1ª

**MATERIAS PRIMAS
Y
OBTENCION DE METALES**

Sala C - 15,30 a 19,00 h .

TITULO: ASPECTOS TEORICOS DEL PROCESO DE DENITRURACION Y SU APLICACION A LA OBTENCION DE ACERO EFERVESCENTE NO ENVEJECIBLE.-

1.- INTRODUCCION

Uno de los aspectos más negativos de los aceros efervescentes, es su susceptibilidad al fenómeno de envejecimiento, definido éste, como el cambio que tiene lugar en el transcurso del tiempo en las propiedades mecánicas, con posterioridad a la deformación plástica a que ha sido sometido el material a temperatura ambiente.

Actualmente está suficientemente demostrado^{1,2,3,4,5}, que el envejecimiento está causado por la presencia de átomos intersticiales de carbono y nitrógeno, especialmente de estos últimos. En teoría, este envejecimiento puede ser producido por concentraciones de nitrógeno muy bajas, siendo suficiente su presencia en concentraciones superiores a 0'0001% para causar envejecimiento, sin embargo, en la práctica industrial, es suficiente reducir el contenido de nitrógeno a niveles por debajo de 0'0005% en orden a prevenir el fenómeno de envejecimiento.

Para evitar este proceso caben dos soluciones:

- Fijar el nitrógeno en forma de nitruros combinándolo con aluminio, dando origen a los aceros calmados, los cuales sin embargo, no presentan la calidad superficial de un acero efervescente, consecuencia lógica de su propio proceso de fabricación.

Por otra parte es de señalar, que recientemente se han desarrollado nuevas técnicas para la obtención de aceros especiales, tal es el caso de los aceros estabilizados y los aceros especialmente calmados al titanio o niobio. No obstante, la práctica metalúrgica de obtención de estos últimos es bastante complicada, ya que incluye un proceso de degasificación al vacío en acería.

- Otra alternativa poco conocida y objeto del presente estudio, es la eliminación del nitrógeno, mediante un recocido denitrurante en atmósfera controlada y bobina abierta en sustitución del tradicional recocido en bobina cerrada.

Mediante este procedimiento, es posible obtener un acero efervescente no envejecible, cuyas propiedades mecánicas además de permanecer inalteradas con el tiempo, quedan sensiblemente mejoradas con relación a un acero efervescente procesado convencionalmente.

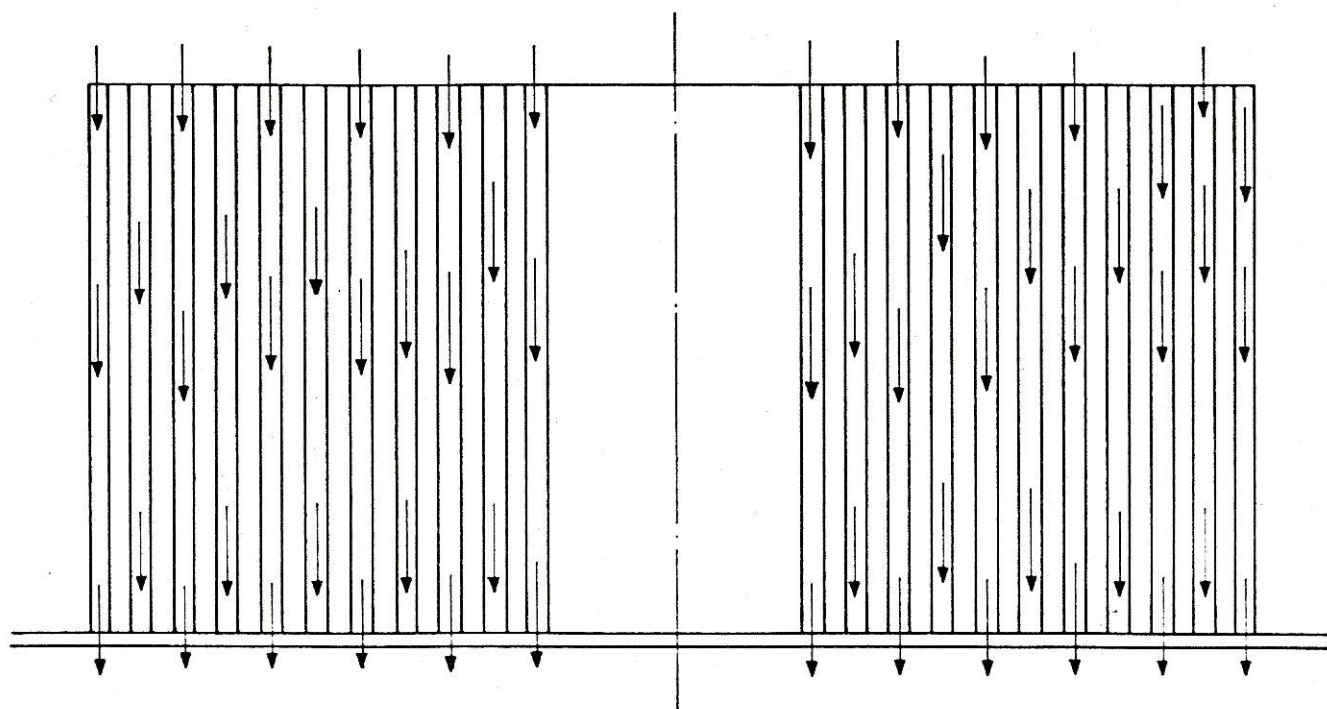
2.- DESCRIPCION DE LA INSTALACION INDUSTRIAL EMPLEADA PARA LA OBTENCION DE ESTOS ACEROS.

El tradicional recocido en horno de campana, a que se someten los aceros efervescentes después del proceso de reducción en frío, no es adecuado para producir cambios en la composición química del acero, ya que el enrollamiento mismo de las espiras excluye dicha posibilidad. En la instalación de recocido en bobina abierta, contrariamente a lo que sucede en la de bobina cerrada, la superficie entera de la bobina se encuentra en contacto con el gas de atmósfera como puede verse en la FIGURA Nº 1.

Este tipo de contacto, no sólo significa que los gases cubren toda la superficie de la bobina, sino que además, dada la forma en que se efectúan los fenómenos de transmisión de calor y transferencia de materia, podremos actuar sobre la cinética del proceso de denitruración mediante el control de la temperatura y composición de la atmósfera del horno, aspecto este último de enorme incidencia sobre la cinética del proceso, empleándose a tal fin atmósferas de hidrógeno puro o bien con composición 75% H_2 25% N_2 procedentes de la craquización de amoníaco.

Una visión más completa de las instalaciones de recocido en bobina abierta, puede verse en la bibliografía descriptiva de este tipo de instalaciones^{6,7,8,9}, así como en los trabajos del propio autor.^{10,11}

Es de señalar, que la denitruración además de realizarse por este procedimiento de recocido en bobina abierta, puede ser efectuada -- por los consumidores de chapa, previamente a su conformación, en hornos de atmósfera controlada, de acuerdo a las consideraciones de cinética que expondré en el apartado siguiente, teniendo siempre presente los criterios de seguridad necesarios para este tipo de hornos, derivados del uso de atmósferas de hidrógeno.



BOBINA ABIERTA

3.- FUNDAMENTOS TEORICOS DEL PROCESO DE DENITRURACION.

Tanto la materia prima empleada, así como los procesos siderúrgicos en acería y laminación en caliente, se pueden entender como normales dentro de lo que se consideran prácticas standar para aceros efervescentes.

Por lo que respecta a la reducción en frío, al contrario de lo que sucede con los materiales calmados al aluminio, donde se ha estudiado detenidamente la importancia de las reducciones previas sobre la posterior textura del material, no se han realizado estudios sobre la influencia de esta etapa en este tipo de aceros, empleándose la práctica normal usada en aceros efervescentes.

Lo que realmente constituye la etapa diferenciadora en el proceso de obtención de estos aceros, es el recocido denitrurante bajo atmósfera controlada, efectuado en la instalación descrita anteriormente.

Es en esta etapa del proceso, donde se produce la denitruración del material, para el estudio de la cual y su posterior aplicación al proceso industrial, emplearé el modelo base propuesto por P.M. Stromchi¹² (FIGURA No 2).

El proceso en su conjunto es muy complejo, ya que se combinan simultáneamente:

- Proceso de difusión en fase sólida del nitrógeno en el interior del acero.
- Transferencia por difusión en fase gaseosa del hidrógeno, desde el bulk a la interfase sólido-gas.
- Adsorción del hidrógeno en la superficie del acero.
- Reacción superficial de síntesis del amoníaco, a partir de la combinación de nitrógeno e hidrógeno.
- Desorción del amoníaco en la superficie del acero.
- Transferencia por difusión en fase gaseosa del amoníaco, desde la interfase sólida al bulk.

Pudiendo sintetizarse todo ello en su conjunto por la siguiente reacción:

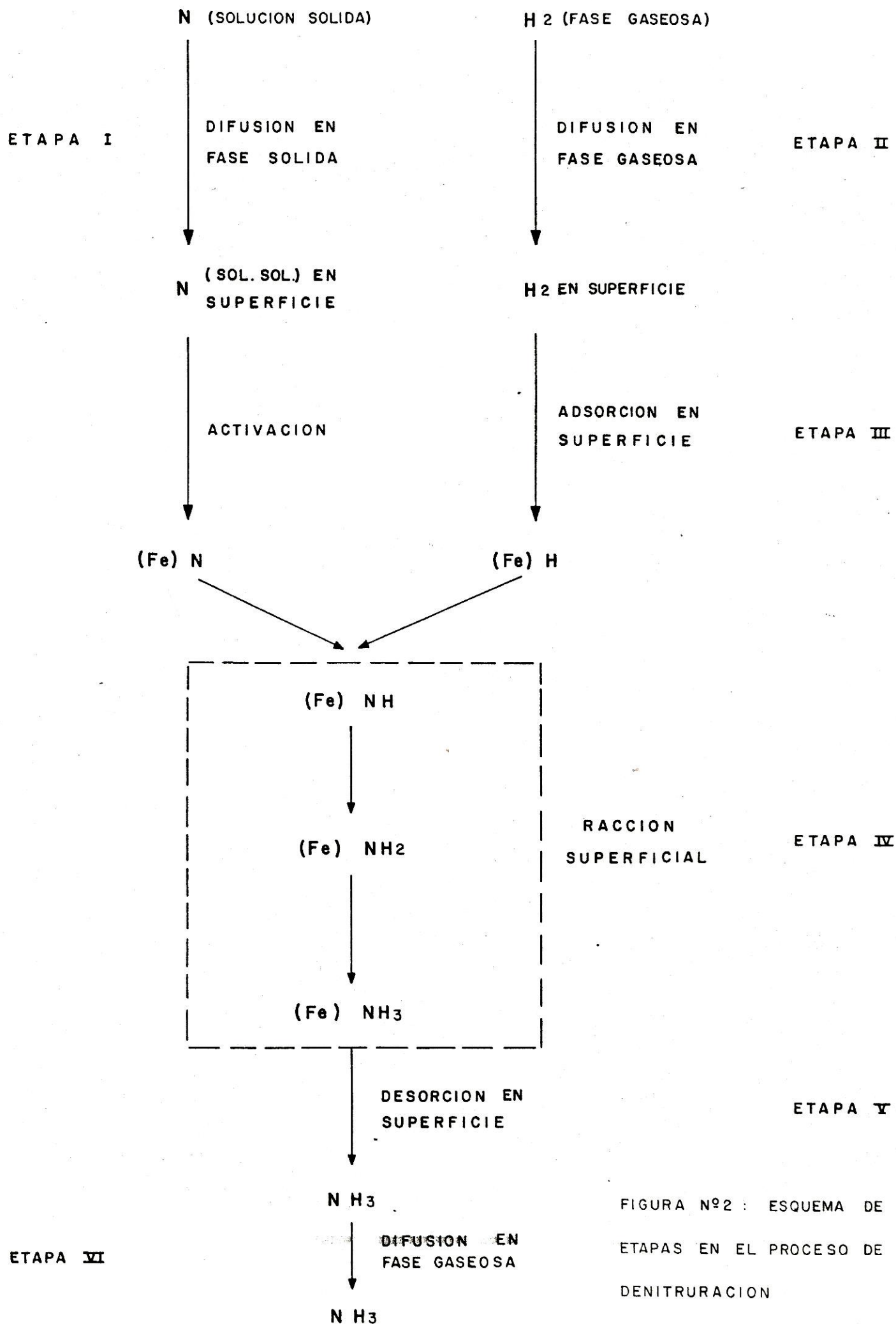
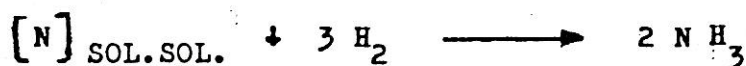


FIGURA Nº2 : ESQUEMA DE ETAPAS EN EL PROCESO DE DENITRURACION



Consideraré seguidamente, las distintas etapas que componen el proceso de denitruración, al objeto de estudiar posteriormente la cinética global del mismo.

3.1.- ESTUDIO DE LA DIFUSION EN FASE SOLIDA DEL NITROGENO EN EL ACERO (ETAPA I).

Estudiaré el fenómeno de la difusión del nitrógeno, asemejándolo a la difusión de un elemento en un medio semi-infinito compuesto - por una sola fase¹³, haciendo para ello dos hipótesis:

a) La concentración de nitrógeno inicial N_0 está uniformemente distribuida en el material base.

b) Para un caudal de remoción suficientemente elevado en la atmósfera del horno, supondré en todo instante, una concentración de nitrógeno en la interfase sólida próxima a cero y en ningún caso superior al contenido final medio de nitrógeno en el acero¹⁴.

En estas condiciones, la concentración media de nitrógeno, para una temperatura T al cabo de un tiempo t , viene expresada por:

$$\frac{\bar{N}(t) - N_s}{N_0 - N_s} = \frac{8}{\pi^2} \cdot \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{(2m+1)^2} \cdot \exp. \left\{ \frac{-(2m+1)^2 \cdot \pi^2 \cdot D_N(T) \cdot t}{e^2} \right\}$$

Siendo:

N_0 , $\bar{N}(t)$, N_s ; las concentraciones medias de nitrógeno en el material al inicio de la denitruración, al cabo de un tiempo t y la concentración de nitrógeno en la interfase gas-metal respectivamente.

e ; espesor de la chapa a denitrurar.

$D_N(T)$; el coeficiente de difusión del nitrógeno en la ferrita.

Para este coeficiente, emplearé los valores obtenidos por J.D. Fast y M.B. Verrijp¹⁵ para la difusión del nitrógeno en hierro α , de acuerdo a la siguiente expresión:

$$D_N (T) = 6.6.10^{-3} \exp. \left\{ - \frac{18.600}{R.T} \right\} \text{ cm}^2/\text{sg.}$$

En nuestro caso, dado el orden de magnitud de tiempos de denitruración, esta serie converge rápidamente, siendo posible sustituirla por el primer término de la misma, obteniéndose un error no superior al 1%.

Quedando para dicha expresión:

$$\frac{N(t) - N_s}{N_0 - N_s} = \frac{8}{\pi^2} \cdot \exp. \left\{ - \frac{\pi^2 \cdot D_N (T) \cdot t}{e^2} \right\}$$

En base a esta expresión en la TABLA NO 1 he calculado los contenidos de nitrógeno medio en el acero $N(t)$, a diversas temperaturas y en función del tiempo para un espesor de 1 mm., pudiendo procederse análogamente para cualquier espesor.

Como quiera que los tiempos de denitruración en las cargas industriales, son muy superiores a los tiempos de difusión aquí obtenidos, es posible afirmar, que cuando se trata de denitruración a nivel industrial no es la difusión del nitrógeno en el acero la etapa controlante del mismo.

La difusión se constituye en etapa controlante del proceso, sólo en los ensayos de laboratorio o similares, donde el caudal de remoción del gas es muy grande en relación a la masa de acero a denitrurar, tal es el caso de los trabajos realizados por G.J.W. Kor y J.F. Rumpt¹⁶, empleando caudales de 40 lts./hora sobre láminas de acero -- con peso total no superior a 750 gr.

Deben reconsiderarse por lo tanto las afirmaciones realizadas por J.D. Fast and M.B. Verrijp¹⁷ y P. Grieveson and E.T. Turkdogan¹⁸, quienes consideran que la difusión del nitrógeno constituye el ratio controlante del proceso de denitruración, debiendo señalarse que ello sólo es cierto en las condiciones de ensayo de estos autores, no siendo extrapolable a denitruraciones efectuadas en otras condiciones.

T A B L A N O 1

TIEMPOS DE DENITRURACION CUANDO LA DIFUSION DEL NITROGENO EN FASE SOLIDA CONSTITUYE LA ETAPA CONTROLANTE DEL PROCESO.-

$$\frac{\bar{N}(t) - N_s}{N_o - N_s} = \frac{8}{\pi^2} \cdot \exp. \left\{ - \frac{\pi^2 \cdot D_N(T) \cdot t}{e^2} \right\}$$

$$D_N(T) = 6.6 \cdot 10^{-1} \cdot \exp. \left\{ - \frac{18.600}{R \cdot T} \right\} \text{ mm}^2/\text{sg.}$$

$$\bar{N}_o = 0.005\%$$

$$N_s = 0.0002\%$$

$$e = 1 \text{ mm.}$$

TIEMPO (t) (horas)	$\bar{N}(t) \dots T=500^{\circ}\text{C}$	$\bar{N}(t) \dots T=600^{\circ}\text{C}$	$\bar{N}(t) \dots T=700^{\circ}\text{C}$
1	$3.62 \cdot 10^{-3} \%$	$2.56 \cdot 10^{-3} \%$	$1.01 \cdot 10^{-3} \%$
2	$3.21 \cdot 10^{-3}$	$1.63 \cdot 10^{-3}$	$3.70 \cdot 10^{-4}$
5	$2.25 \cdot 10^{-3}$	$5.23 \cdot 10^{-4}$	$2.01 \cdot 10^{-4}$
8	$1.59 \cdot 10^{-3}$	$2.72 \cdot 10^{-4}$	$< 2.00 \cdot 10^{-4}$
10	$1.28 \cdot 10^{-3}$	$2.26 \cdot 10^{-4}$	$< 2.00 \cdot 10^{-4}$
15	$7.71 \cdot 10^{-4}$	$2.02 \cdot 10^{-4}$	$< 2.00 \cdot 10^{-4}$
20	$5.01 \cdot 10^{-4}$	$2.00 \cdot 10^{-4}$	$< 2.00 \cdot 10^{-4}$

3.2.- ESTUDIO DE LOS FENOMENOS DE TRANSFERENCIA POR DIFUSION EN FASE GASEOSA (ETAPAS II y IV) .

Ya hemos visto que en los ensayos de laboratorio, los fenómenos de transferencia por difusión en fase gaseosa del hidrógeno y amoníaco, son más rápidos que la difusión del nitrógeno en el interior del acero, ya que ésta última se constituye en la etapa controlante del proceso.

En las denitruraciones industriales mediante recocido en bobina abierta, aunque los caudales de aportación exterior suministrados por los generadores son bajos con relación a la carga que se pretende denitrurar (100-150 m³/h , 30.000 Kgr.), la alta capacidad de remoción interna de las turbinas (40.000 m³/h), hace que la velocidad del flujo gaseoso en los espacios interespiras alcance velocidades superiores a 3'52 m/sg.¹⁹.

En estas condiciones, los fenómenos de transferencia por difusión no constituyen la etapa controlante del proceso²⁰.

3.3.- ESTUDIO DE LA CINETICA DE LA REACCION SUPERFICIAL COMO ETAPA CONTROLANTE DEL PROCESO DE DENITRURACION (ETAPAS IV y V).

Una vez visto que los fenómenos de transferencia de materia no constituyen la etapa controlante del proceso y que la difusión del nitrógeno, sólo en determinadas condiciones constituye la etapa controlante del proceso de denitruración, vamos a estudiar en este apartado, la cinética de las reacciones superficiales, juntamente con los fenómenos de adsorción y desorción que se producen en la superficie de la chapa.

Aunque en los estudios de esta reacción, efectuados por Stronchi et al^{21,22} y R.M. Hudson²³, se señala que el proceso de denitruración está controlado por la cinética de la reacción superficial, siendo esta cinética de primer orden con respecto a la concentración de nitrógeno en la superficie de la chapa, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\frac{d N (t)}{dt} = - K (T) \cdot N (t) \cdot P_{H_2}^{3/2}$$

Sin embargo, posteriores trabajos realizados por T. Mori et al.²⁴, demuestran, que mediante la elevación de los caudales de remoción externos, se hace posible rebajar los tiempos de denitruración, de forma que el fenómeno de difusión pase a ser la etapa controlante del proceso.

Esto nos lleva a reconsiderar las conclusiones de los autores mencionados en primer término, en el sentido de que la cinética de la reacción superficial en sí misma no constituye la etapa controlante del proceso, ya que puede ser modificada en función del caudal de remoción externo suministrado a la atmósfera del horno de laboratorio.

Si además de esto, tenemos en consideración que en los ensayos a nivel industrial:

- El caudal de remoción externo de hidrógeno (100-150 m³/hora), es muy bajo con relación a la carga de la base (20-30 Tm), si lo comparamos con los ensayos de laboratorio.

- El caudal de recirculación interno (40.000 m³/hora) y como consecuencia la velocidad de circulación del gas en el interior de la base, es perfectamente comparable a la de los ensayos de laboratorio.

Obtenemos como consecuencia, que la única diferencia existente entre los ensayos de laboratorio y los realizados a escala industrial, reside en la elevada concentración de amoníaco presente en la atmósfera de estos últimos, resultado de la relación existente entre la carga a denitrurar y los caudales de remoción exteriores.

Por todo ello, en opinión del autor, en los ensayos de denitruración a nivel industrial, la etapa de desorción en superficie -- (Etapa V), se transforma en la etapa controlante del proceso global.

En efecto, si consideramos conjuntamente las etapas V y VI y el ratio de eliminación global del nitrógeno del acero en forma de amoníaco, tal como puede verse en la FIGURA Nº 3, tendremos:



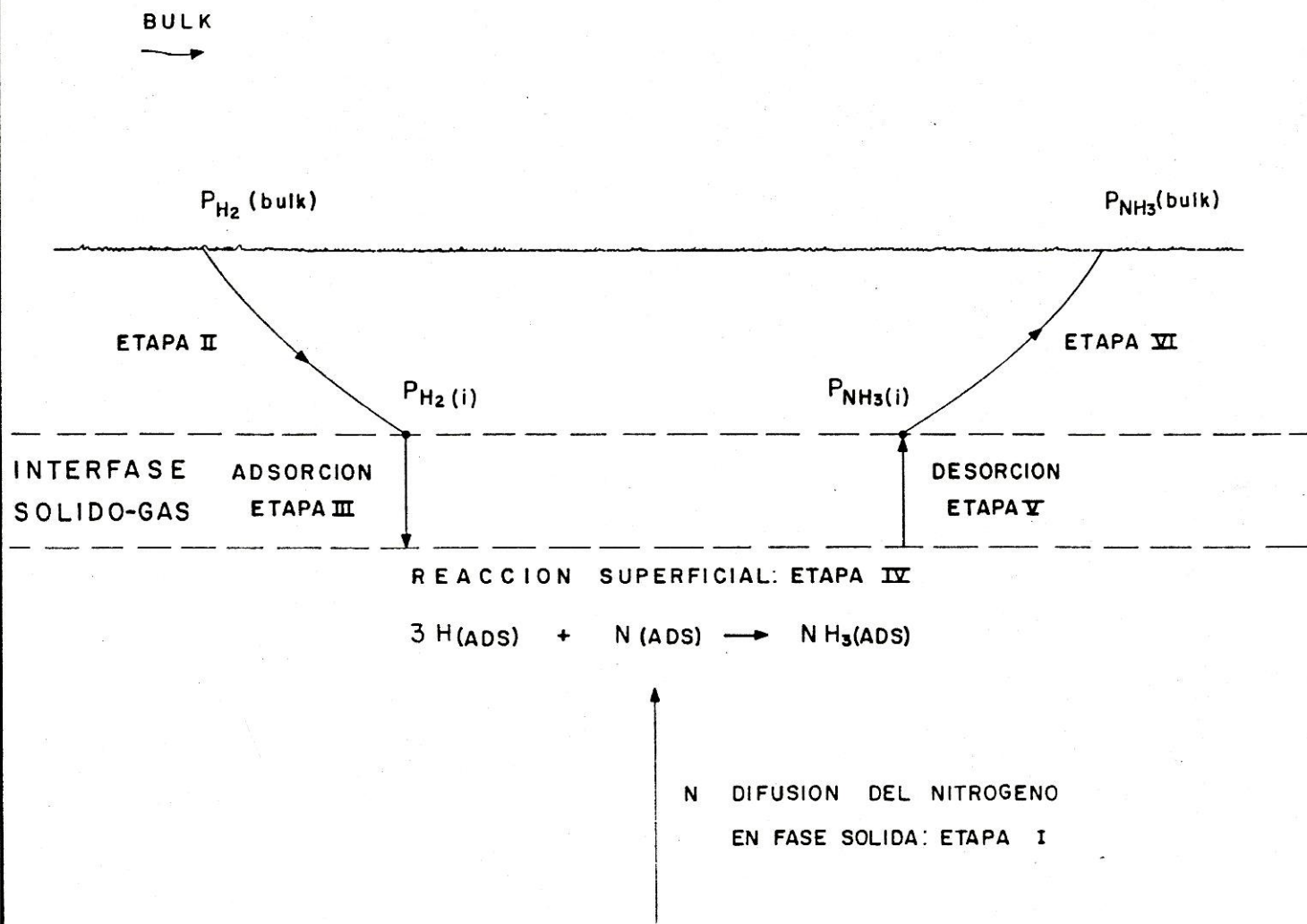
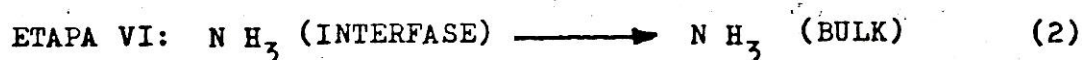


FIGURA N°3 : ETAPAS CORRESPONDIENTES AL
PROCESO DE ELIMINACION GLOBAL DEL NITROGENO



RATIO DE ELIMINACION GLOBAL:

$$\frac{d N(t)}{d t} = K_{\text{N H}_3} (P_{\text{NH}_3(i)} - P_{\text{NH}_3(b)}) \quad (3)$$

Siendo:

$P_{\text{NH}_3(b)}$ y $P_{\text{NH}_3(i)}$; las presiones parciales de amoniaco en el bulk e interfase respectivamente.

K_{NH_3} ; el coeficiente de transporte correspondiente al fenómeno de transporte de amoniaco desde la interfase al bulk.

De conformidad a estas expresiones, un aumento de la presión parcial de amoniaco en el bulk, como sucede en las denitruraciones a escala industrial, traerá como consecuencia:

1) Un aumento de la presión parcial de amoniaco en la interfase (ecuación 2).

2) Como consecuencia de lo anterior, se producirá una ralentización en el proceso de desorción del amoniaco (ecuación 1), acomodándose seguidamente la cinética de las demás etapas del proceso, incluida la reacción superficial, a lo marcado por ésta última.

En base a esto, cabe reconsiderar los tiempos propuestos en el único trabajo existente sobre denitruración industrial, realizado por J.F. Enrietto²⁵, quien considera el proceso industrial controlado simultáneamente por el proceso de difusión y el balance de materia resultante de la eliminación del nitrógeno del acero mediante los gases de salida del horno, lo cual no sucede realmente cuando se trata de una denitruración a escala industrial.

4.- CONCLUSIONES TEORICAS Y SU APLICACION AL PROCESO INDUSTRIAL.

En base a todo lo anterior, podemos obtener las siguientes conclusiones teóricas para el proceso de denitruración:

- En los ensayos de laboratorio, donde el caudal de remoción exterior es grande con relación a la carga que se pretende denitrurar, la difusión del nitrógeno en el acero se constituye en la etapa controlante del proceso.

- En las denitruraciones a escala industrial, podemos afirmar, que ni la cinética de la reacción superficial, así como tampoco los fenómenos de transferencia de materia en la interfase y difusión del nitrógeno en el acero, constituyen "por sí mismos" la etapa controlante del proceso. El aumento de los tiempos de denitruración con respecto a los ensayos de laboratorio, donde es la difusión la etapa controlante del proceso, debe atribuirse a la disminución en la velocidad de desorción del amoníaco, producida por un aumento en la presión parcial de amoníaco en la interfase, consecuencia a su vez del menor caudal de remoción externo en relación a la carga de la base.

En base a las conclusiones teóricas y en lo que a la práctica operatoria del proceso de denitruración industrial se refiere, debe procederse de acuerdo a las siguientes recomendaciones en orden a la optimización de dicho proceso.

- Calcular los tiempos de denitruración, cuando es la difusión del nitrógeno la etapa controlante, de conformidad al modelo matemático señalado en el apartado 3.1 y en función de los siguientes parámetros; espesor de la chapa a denitrurar (e), contenido inicial de nitrógeno en el acero (N_0) y temperatura del proceso (T).

Estos tiempos, constituyen los tiempos de denitruración mínimos de acuerdo a los valores asignados a los mencionados parámetros, por debajo de los cuales es imposible rebajar los tiempos de denitruración.

- Calcular y diseñar las turbinas de circulación interna de la base, de forma que los caudales de remoción internos y velocidades de flujo sean elevados, asegurando de esta forma, que las etapas de transferencia entre la interfase sólido-gas y el bulk no se constituyan en etapas controlantes.

- Sabido es, que el caudal de remoción externo de hidrógeno, que constituye un factor fundamental en la cinética del proceso de denitruración, viene limitado por el elevado coste económico de la generación de dicho gas. Por ello y al objeto de acelerar la cinética del

proceso, propondré la eliminación parcial del amoniaco de los gases - de circulación internos de la base, mediante la colocación en los con ductos de aspiración de la turbina de un dispositivo de filtrado de - amoniaco por absorción, como puede verse en la FIGURA N^o 4.

- Mediante el recocido en bobina abierta y operando en estas - condiciones, es posible alcanzar rendimientos en la carga a denitru-- rar de 0'7 Tm/hora e incluso superiores, siendo el consumo estimado - de hidrógeno de 25 m³/Tonelada.

En la FIGURA N^o 5 se muestra el esquema propuesto por el autor para un ciclo denitrurante.

5.- CARACTERISTICAS DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS MEDIANTE LA A- PLICACION DE ESTE PROCEDIMIENTO.

Pasaré seguidamente a considerar las características de los - productos obtenidos mediante la aplicación de este procedimiento, en base a los datos suministrados por los grupos Sollac²⁶ y Kawasaki²⁷ - fabricantes de material denitrurado. Aunque como ya he señalado ante riormente, dicho proceso puede ser realizado por el consumidor, de - acuerdo a lo señalado en la exposición teórica y previamente a la con formación en frío del material.

Los materiales así obtenidos, presentan como características más destacables:

- No envejecimiento; mediante el recocido denitrurante se ob- tienen aceros efervescentes no envejecibles, posibilitándose de esta forma su almacenamiento durante varios meses. En la TABLA N^o 2, se - muestra comparativamente la variación de las características mecáni- cas de un acero efervescente denitrurado con el transcurso del tiem- po.

- Embutibilidad; El material así procesado, presenta unas ca- racterísticas de embutibilidad superiores a las de un acero eferves- cente ordinario, por lo que puede emplearse en operaciones de confor mación medias, que no requieran condiciones de embutibilidad especia les. En la TABLA N^o 3, se muestran las características de embutibili- dad de estos aceros, frente a los aceros efervescentes convenciona-- les y aceros calmados al aluminio.

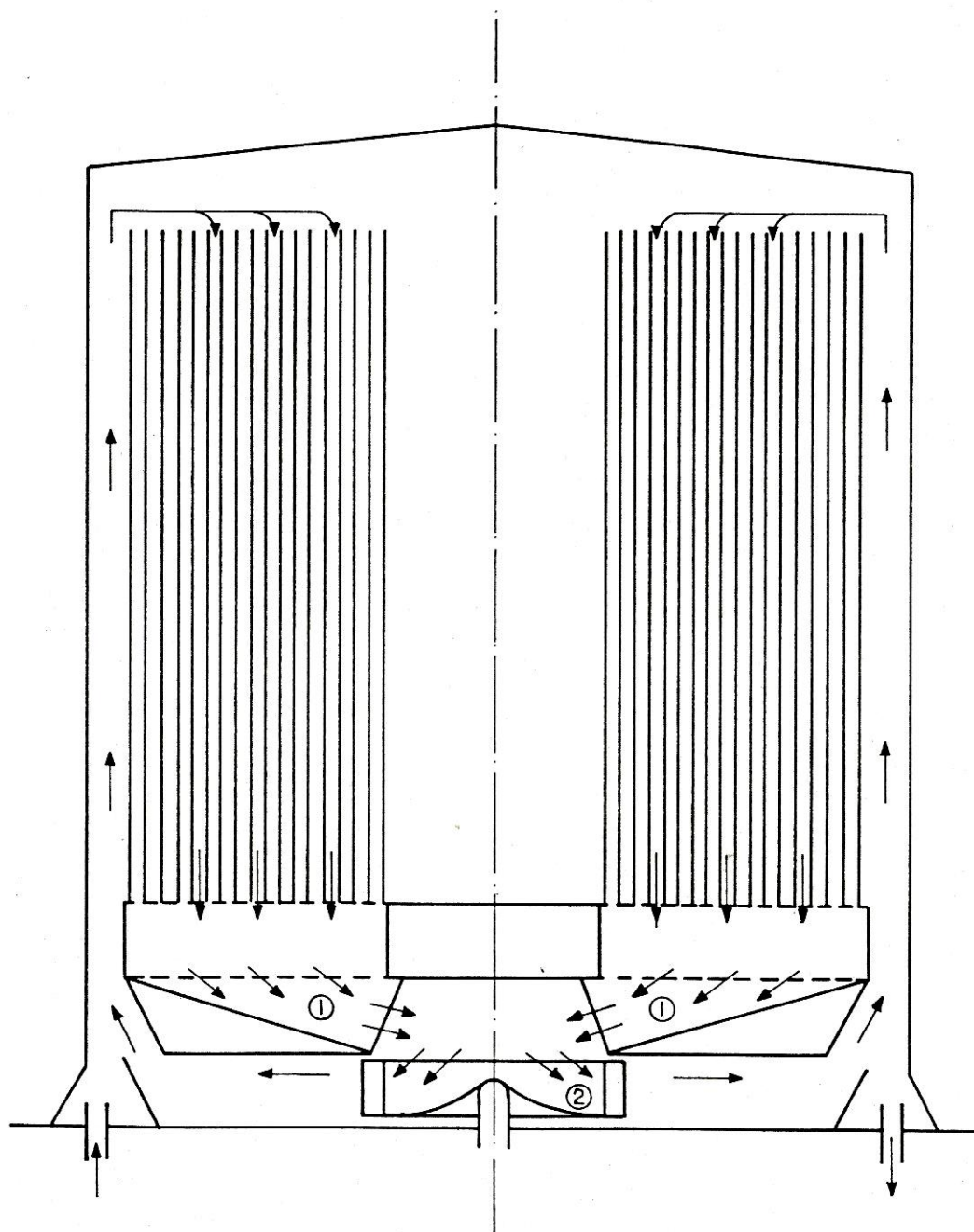


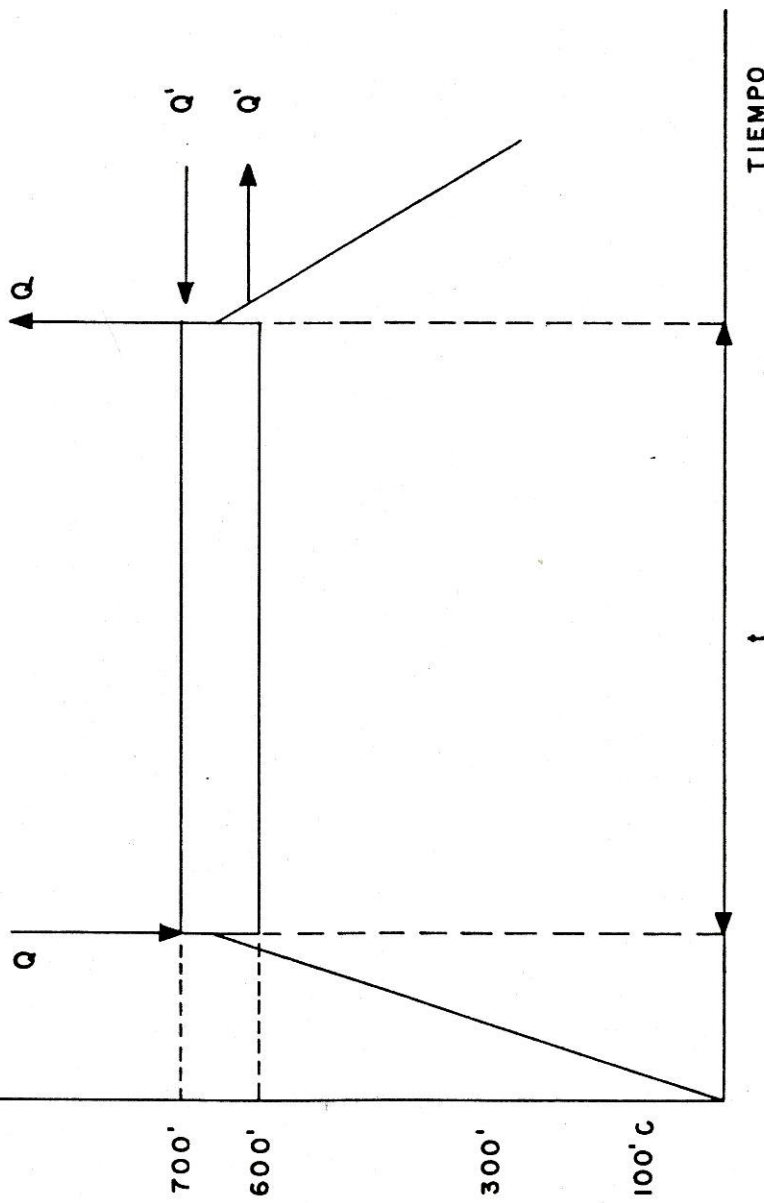
FIGURA Nº4 : BASE DE DENITRURACIÓN

1.- Absorción de amoniaco

2.- Turbina

Q CAUDAL DE REMOCION = 25 m³/Tm.
EXTERIOR

T (TEMP)



Q' CAUDAL DE CIRCULACION
INTERIOR:

Suficiente para producir velocidades
de flujo superiores a 3,52 m./seg.

MINIMO : Dado por el modelo matemático
de difusión

t : TIEMPOS DE
DENITRURACION

$$\text{MAXIMO : } t = \frac{Q (Tm.)}{0,7} \text{ (horas)}$$

FIGURA Nº 5 : ESQUEMA DE CICLO DENITRURANTE

T A B L A N o 2

ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS CARACTERISTICAS MECANICAS DE UN ACERO
EFERVESCENTE DENITRURADO CON EL TRANSCURSO DEL TIEMPO.-

COMPOSICION QUIMICA: 0'055% C, 0'025% S, 0'008% P, 0'32% Mn, N 0'0005%

ESPESOR : 1 mm.

REALIZACION DEL ENSAYO	CARACTERISTICAS MECANICAS				
	E (Kgr/mm ²)	R (Kgr/mm ²)	PALIER %	$\bar{r}$	n
INMEDIATAMENTE DESPUES DE FABRICACION	17'5	30'1	0	1'20	0'222
TRANSCURRIDOS 6 MESES DESPUES DE FABRICACION	17'9	30'2	0'2	1'20	0'222

T A B L A N º 3

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA CONDICION DE EMBUTIBILIDAD DE LOS
DIFERENTES TIPOS DE ACEROS

TIPO DE ACERO CARACTERISTICAS	ACERO EFERVESCENTE CONVENCIONAL	ACERO EFERVESCENTE DENITRURADO (RECOCIDO BOBINA ABIERTA)	ACERO CALMADO AL ALUMINIO
ESTRUCTURA METALOGRAFICA (TIPO DE GRANO)	EQUIAXICO	EQUIAXICO	PAN-CAKE
$\bar{r}$	1'15 - 1'20	1'20 - 1'30	1'36 - 1'45
n	0'211 - 0'230	0'220 - 0'225	0'229 - 0'231
(*) CARACT. MECANICAS			
R (Kgr/mm ²)	32'9	30'2	31'5
E (Kgr/mm ²)	25'6	17'9	19'2

(*) DESPUES DE UN ENSAYO DE ENVEJECIMIENTO DE 1 HORA A 100º C

- Limpieza superficial; el acero efervescente denitrurado presenta una calidad superficial superior a la de los aceros calmados, - lo cual le convierte en un material muy adecuado cuando ha de ser sometido con posterioridad a un proceso de esmaltación, especialmente - en el caso de la esmaltación directa en una sola capa, presentando una propensión a los golpes de uña netamente inferior al de los aceros -- calmados al aluminio.

Por todo ello, mediante las bases teóricas señaladas en el presente trabajo, juntamente con las conclusiones expuestas por el autor, se hace posible mediante la modificación en el proceso siderúrgico -- convencional de obtención de aceros efervescentes, consistente en un recocido denitrurante en bobina abierta, la obtención de un producto siderúrgico que une a sus condiciones de embutibilidad media su limpieza superficial y no envejecimiento.

6.- REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1.- J.R. LOW AND M. GENSAMER

Aging and the Yield Point in Steel

A.I.M.E. TECHNICAL PUBLICATION No 1644

METALS TECHNOLOGY DECEMBER 1943 pp. 1-36

2.- J.D. BAIRD

Strain-aging of steel- a critical review Part I: Practical aspects.

IRON STEEL MAY 1963 36 pp. 186-192

3.- J.D. BAIRD

Strain-aging of steel- a critical review Part I: Practical aspects.

IRON STEEL JUNE 1963 36 pp. 326-334

4.- J.D. BAIRD

Strain-aging of steel- a critical review Part II: The Theory of strain aging.

IRON STEEL JULY 1963 36 pp. 368-374

5.- J.D. BAIRD

Strain-aging of steel- a critical review Part II: The Theory of strain aging.

IRON STEEL AUGUST 1963 36 pp. 400-405

6.- V.J. GIBBONS

Open-coil annealing

SHEET METAL INDUSTRIES MAY 1961 pp. 341-348

7.- J.A. BAUCHER AND J.K. MAGOR

Open-coil annealing: Comercial applications and current development.

I.S.I SPECIAL REPORT 79 1963 pp. 34-42

8.- J. ARNOLD

Show way to gas annealing

IRON AND STEEL ENGINEER AUGUST 1960 pp. 91-111

9.- W.T. MAINWARING

Recent developments in hydrogen-nitrogen supply systems for furnace atmosphere control.

IRON AND STEEL ENGINEER OCTOBER 1967 pp. 115-125

10.- TESIS DOCTORAL DEL AUTOR

Contribuciones a la optimización del procedimiento open-coil.

ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES DE BILBAO (UNIVERSIDAD DEL PAIS VASCO) MAYO 1980 pp. 6

11.- PONENCIA DEL AUTOR

Contribuciones a la optimización del procedimiento open-coil.

PONENCIA PRESENTADA EN LA V ASAMBLEA GENERAL DEL CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES METALURGICAS TOMO II (T-74) MADRID 6-9 OCTUBRE 1981.

12.- P.M. STRONCHI, A. MELANDRI, A. TAMBA

Rapporto finale della ricerca: "Studio del meccanismo di denitrurazione di un acciaio e determinazione dei parametri che entrano nell' equazione cinética".

INFORMACION SUMINISTRADA AL AUTOR POR EL CENTRO SPERIMENTALE METALLURGICO BOLONIA 15 ABRIL 1965.

13.- W. JOST

Diffusion in solids, liquids and gases

ACADEMIC PRESS NEW-YORK 1960 pp. 37

14.- R. KIEGER (SOLLAC)

Reactions gaz-metal decarburation et denitruration.

CENTRE D'ETUDES SUPERIEURES DE LA SIDERURGIE FRANCAISE
(CESSID). SEMINAIRE TOLES NOVEMBRE 1972 pp. 21
VOIE ROMAINE B.P. 56 MAIZIERES-LES-METZ 57210

15.- J.D. FAST AND M.B. VERRIJP

Diffusion of nitrogen in iron

JOURNAL OF THE IRON AND STEEL INSTITUTE JANUARY 1954
pp. 24-27, 24

16.- G.J.W. KOR AND J.F. RUMPT

The simultaneous decarburization and denitridding of steel
strip at 700°C in gas mixtures of hydrogen and water va-
pour.

JOURNAL OF THE IRON AND STEEL INSTITUTE OCTOBER 1969
pp. 1377-1381 (1378).

17.- REF. N° 15

18.- P. GRIEVESON AND E.T. TURKDOGAN

Kinetics of reaction of gaseous nitrogen with iron.

PartII: Kinetics of nitrogen solution in alpha and delta
iron.

TRANSACTIONS OF THE METALLURGICAL SOCIETY OF A.I.M.E.
230 DECEMBER 1964 pp. 1604-1609 (1604)

19.- REF. N° 10 (ANEXO N° 2)

20.- REF. N° 10 (ANEXO N° 3)

21.- REF. N° 12

22.- S. MICHELUCCI, C. PICASSO, G. AGABIO, A. TAMBA

Denitrurazione in atmosfera reattiva non umidificata di
rotoli di acciaio per profondo stampaggio, relazione --
fra tenori di N residuo e "indice di invecchiamento".

LA METALLURGIA ITALIANA No 4 1967 pp. 283-288

23.- R.M. HUDSON

The rate of remoral of nitrogen from low-carbon steel during heat treatment.

TRANSACTIONS OF THE METALLURGICAL SOCIETY OF A.I.M.E.
VOLUME 230 AUGUST 1964 pp. 1138-1140

24.- T. MORI, E. ICHIE, Y. NIWA

The remoral of nitrogen from steel by annealing in hydrogen atmospheres.

TRANSACTIONS I.S.I.J. VOL. 13 1973 pp. 392-401.

25.- J.F. ENRIETTO

Strain aging and denitriding in steels

JOURNAL OF THE IRON AND STEEL INSTITUTE MARCH 1966
pp. 252-258.

26.- REF. No 14 pp. 32-33

SOCIETE LORRAINE DE LAMINAGE CONTINU (SOLLAC) 28 RUE
DUMONT D'URVILLE- PARIS (XVI)

27.- KAWASAKI STEEL CORPORATION

Extra deep-drawing non-aging steel sheets.

Deep drawing non-aging cold rolled steel sheet and a method of producing the same

1 KAWASAKI-CHO, CHIBA 280, JAPAN