



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

EL ENFRIAMIENTO EN LOS
TRATAMIENTOS TÉRMICOS

TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
(área mecánica)

PRESENTA

Juan José Reyes Tinajero

DIRECTOR DE LA TESIS Ing. José Pappaterra Caballero

MÉXICO, D.F.

1983



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

CAPITULO 1 LOS PRINCIPIOS BASICOS DE TRATAMIENTOS TERMICOS DE LOS ACEROS

- 1.- *Curvas de calentamiento.*
- 2.- *Duración del mantenimiento de la temperatura.*
- 3.- *Curvas de enfriamiento.*
- 4.- *Conclusión práctica.*

CAPITULO 2 ENFRIAMIENTO

- 1.- *Influencia del medio de enfriamiento.*
- 2.- *Características de los procesos de enfriamiento
en el temple de los aceros.*
- 3.- *Elección del medio de temple.*

CAPITULO 3 MEDIOS DE ENFRIAMIENTO

- 1.- *Medios de enfriamiento más empleados en el tem-
ple de los aceros.*

- 1.- *Establecimiento de la base de la escala.*
- 2.- *Práctica de la medida.*

CAPITULO 7 LAS CONDICIONES DE APARICION DE FISURAS DE TEMPLE SON PRECISAS Y REPRODUCIBLES

- 1.- *Condiciones del tratamiento.*
- 2.- *Condiciones de la aparición de fisuras.*
- 3.- *Morfología de las fisuras.*
- 4.- *Características y propiedades mecánicas.*
- 5.- *Discusión.*
- 6.- *Ejemplo de aplicación.*
- 7.- *Conclusiones.*

CAPITULO 8 RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD CONCERNIENTE A LAS CUBETAS DE TEMPLE CON ACEITE

- 1.- *Generalidades.*
- 2.- *Principales riesgos incurridos.*
- 3.- *Principios generales de protección.*
- 4.- *Consejos de seguridad para la concepción y la
construcción de cubetas de temple con aceite.*
- 5.- *Control de calentamiento de las cubetas de temple*

CAPITULO 9 CURVA DE LA "S" O DIAGRAMA T.T.T.

- 1.- *Curva de la "S".*
- 2.- *Método metalográfico.*
- 3.- *Método dilatométrico.*
- 4.- *Método metalográfico de temple y revenido.*
- 5.- *Constituyentes microscópicos en la transformación
isotérmica.*

INDICE

CAPITULO 1 LOS PRINCIPIOS BASICOS DE TRATAMIENTOS TERMICOS DE LOS ACEROS

- 1.- *Curvas de calentamiento.*
- 2.- *Duración del mantenimiento de la temperatura.*
- 3.- *Curvas de enfriamiento.*
- 4.- *Conclusión práctica.*

CAPITULO 2 ENFRIAMIENTO

- 1.- *Influencia del medio de enfriamiento.*
- 2.- *Características de los procesos de enfriamiento
en el temple de los aceros.*
- 3.- *Elección del medio de temple.*

CAPITULO 3 MEDIOS DE ENFRIAMIENTO

- 1.- *Medios de enfriamiento más empleados en el tem-
ple de los aceros.*

CAPITULO 4 CARACTERIZACION DE LAS PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS DE TEMPLE

- 1.- *Caracterización de aceites de temple.*
- 2.- *Pruebas de drásticidad.*
- 3.- *Adquisiciones y orientación en el dominio de las características de aceites de temple.*
- 4.- *Propiedades y soluciones acuosas de productos orgánicos.*
- 5.- *Dominio de aplicación potencial de soluciones acuosas en el temple masico.*
- 6.- *Caracterización en el laboratorio de las propiedades de las soluciones acuosas.*
- 7.- *Orientación en el dominio de las características de soluciones orgánicas.*

CAPITULO 5 CARACTERISTICAS FISICO - QUIMICAS DE ACEITES DE TEMPLE

- 1.- *Objeto y dominio de aplicación.*
- 2.- *Características físico - químicas y métodos de prueba de aceites de temple.*
- 3.- *Relación entre características físico - químicas y propiedades de empleo.*
- 4.- *Pruebas de aceite de temple en función de su edad.*

CAPITULO 6 PROPOSICION DE UNA ESCALA PRACTICA PARA LA EVALUACION DEL PODER DE ENFRIAMIENTO DE MEDIOS DE TEMPLE EN LOS TRATAMIENTOS TERMICOS DE LOS METALES

- 1.- *Establecimiento de la base de la escala.*
- 2.- *Práctica de la medida.*

CAPITULO 7

LAS CONDICIONES DE APARICION DE FISURAS DE TEMPLE SON PRECISAS Y REPRODUCIBLES

- 1.- *Condiciones del tratamiento.*
- 2.- *Condiciones de la aparición de fisuras.*
- 3.- *Morfología de las fisuras.*
- 4.- *Características y propiedades mecánicas.*
- 5.- *Discusión.*
- 6.- *Ejemplo de aplicación.*
- 7.- *Conclusiones.*

CAPITULO 8

RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD CONCERNIENTE A LAS CUBETAS DE TEMPLE CON ACEITE

- 1.- *Generalidades.*
- 2.- *Principales riesgos incurridos.*
- 3.- *Principios generales de protección.*
- 4.- *Consejos de seguridad para la concepción y la construcción de cubetas de temple con aceite.*
- 5.- *Control de calentamiento de las cubetas de temple*

CAPITULO 9

CURVA DE LA "S" O DIAGRAMA T.T.T.

- 1.- *Curva de la "S".*
- 2.- *Método metalográfico.*
- 3.- *Método dilatométrico.*
- 4.- *Método metalográfico de temple y revenido.*
- 5.- *Constituyentes microscópicos en la transformación isotérmica.*

- 6.- *Transformación a perlita y bainita.*
- 7.- *Zona superior (estructuras laminares).*
- 8.- *Estructuras granulares.*
- 9.- *Ferrita*
- 10.- *Zona intermedia.*
- 11.- *Zona inferior.*
- 12.- *Curvas de enfriamiento y el diagrama T - I.*
- 13.- *Posición de la curva T - I.*
- 14.- *Avance de la transformación de la austenita.*
- 15.- *Curvas T.T.T. de enfriamiento continuo.*

CAPITULO 10

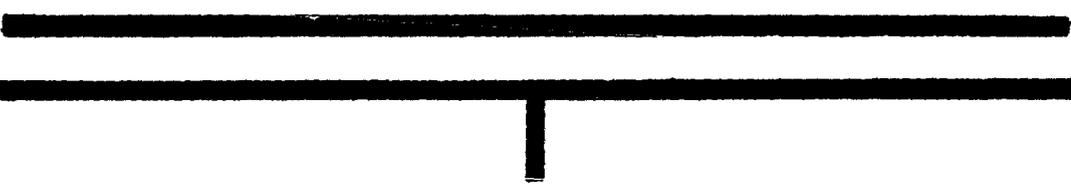
LECHO FLUIDIZADO Y TRATAMIENTOS TERMICOS

- 1.- *Introducción.*
- 2.- *Fenómeno de fluidización.*
- 3.- *Propiedades térmicas del lecho fluidizado.*
- 4.- *Tecnología del lecho fluidizado.*
- 5.- *Teoría de la transferencia de calor en el baño fluidizado.*
- 6.- *Baño fluidizado calentado por gas.*
- 7.- *Propiedades y resultados.*
- 8.- *Aplicación del baño fluidizado.*
- 9.- *Conclusión.*

BIBLIOGRAFIA



*LOS PRINCIPIOS BASICOS
DE TRATAMIENTOS
TERMICOS DE LOS
ACEROS*



FENOMENOS TERMICOS [CALENTAMIENTO Y ENFRIAMIENTO]

Todo tratamiento térmico comporta una sucesión de operaciones: calentamiento, mantenimiento de temperatura, enfriamiento, aplicados a una aleación metálica en estado sólido para obtener una modificación de sus propiedades (Definición del Glosario de tratamientos térmicos)

El dominio de calentamiento será caracterizado por una curva de acenso de temperatura, la ley de enfriamiento por la curva de enfriamiento.

Se hará una abstracción en todo lo referente a la influencia de perturbaciones del medio externo: oxidación, descarburación, cementación, etc... esta influencia podrá por otra parte ser puesta en provecho para la ejecución de tratamientos termoquímicos.

1._ CURVA DE CALENTAMIENTO

A) SEMEJANZA TEORICA

El paso de la ley de calentamiento depende en parte de la cantidad de calor provisto a cada instante a la pieza y, por otra parte, las características geométricas y físicas de esta pieza.

Se conocen las leyes que rigen la transmisión de calor por conducción, convección, radiación y se pueden evaluar con una relativa precisión la cantidad de calor provisto según el procedimiento del calentamiento utilizado: por ejemplo si se emplea un procedimiento de calentamiento por conducción, la cantidad de calor es proporcional a la diferencia de temperatura entre la superficie de la pieza y el medio ambiente

$$\Delta q / \Delta t = S \cdot (T_f - T_s).$$

La transmisión de calor por convección obedece a una ley idéntica.

Las leyes de la transmisión de calor por radiación en una forma más compleja puede intervenir la cuarta potencia de la temperatura (absoluta).

El incremento de la temperatura del metal es proporcional a la cantidad de calor producida por unidad de masa. Si por otra parte la cantidad total de calor provista por unidad de masa. Si por otra parte la cantidad total de calor provista por unidad de tiempo y por unidad de superficie es proporcional a la dife -

rencia de temperaturas entre el metal y el medio exterior, la temperatura del metal es una función exponencial del tiempo de la forma: $T = T_f - (T_f - T_0)e^{-kt}$ con

$K = \alpha / Cp \times S/V$ (α coeficiente de transmisión de calor entre el medio exterior y el metal; C capacidad térmica; p masa específica; S superficie y V volumen de la pieza).

Se observa que todos los casos iguales por otra parte, la temperatura necesaria para alcanzar una temperatura dada es proporcional a la relación $[V/S]$, esta es directamente proporcional al diámetro en el caso de la esfera o del cilindro de forma homotética (ver fig 1) donde las curvas de acenso de temperatura de cilindros de diámetro 10, 20, 40 y 80 [mm].

Las curvas de la figura 1 corresponden aproximadamente al caso de calentamiento en baño de sales en piezas de acero al carbono (o en aceros debilmente aleados). En los otros casos, se constata que las curvas efectivas de acenso de temperatura estan fuertemente alejadas de lo que prevé la teoria que se va a exponer. Una de las razones de esta desviación entre la teoria y la realidad proviene de que se va implícitamente a suponer que todas las partes de la pieza se calentaran a la misma velocidad. En realidad, puede y tiene al transcurso del calentamiento, desviaciones de temperatura muy importantes entre la superficie y el corazón de la pieza.

El calor provisto en la superficie provoca una elevación de temperatura muy importante que se prolonga al interior del metal por conducción. A cada instante se augura una distribución de temperatura (un gradiente térmico) donde la forma dependerá de las características del metal, a saber su masa específica p , su capacidad térmica C y su conductividad térmica.

Esta distribución térmica puede ser calculada para todo el período de calentamiento en el caso de sólidos de forma geométrica simple: cubo, paralelepípedo, cilindro, esfera, a condición de conocer la ley de transmisión de calor de la pieza.

Los calculos por intervenir
son el cociente

$$\frac{\lambda}{p C \lambda} = \alpha$$

denominada difusividad térmica, los valores de p , C , varían con la composición del metal (ver tabla 1 y figs 2 y 3). Se notará que los valores de α son más elevados para los aceros aleados que para los aceros al carbono.

Se notará igualmente que α varía con la temperatura, y presenta una va

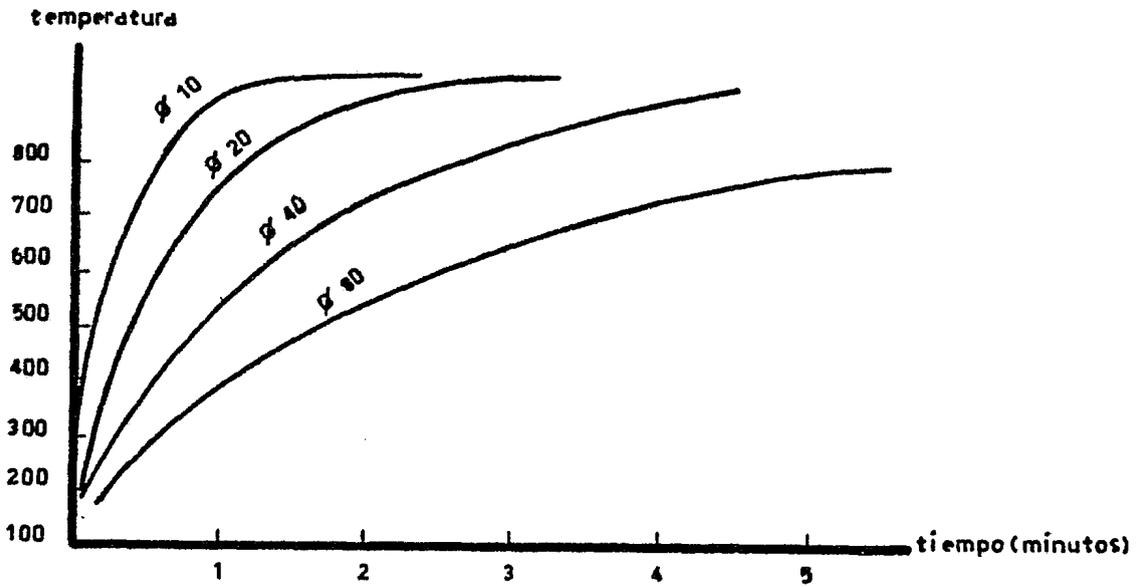


Fig.1 - Curva de ascenso de temperatura (cilindros).

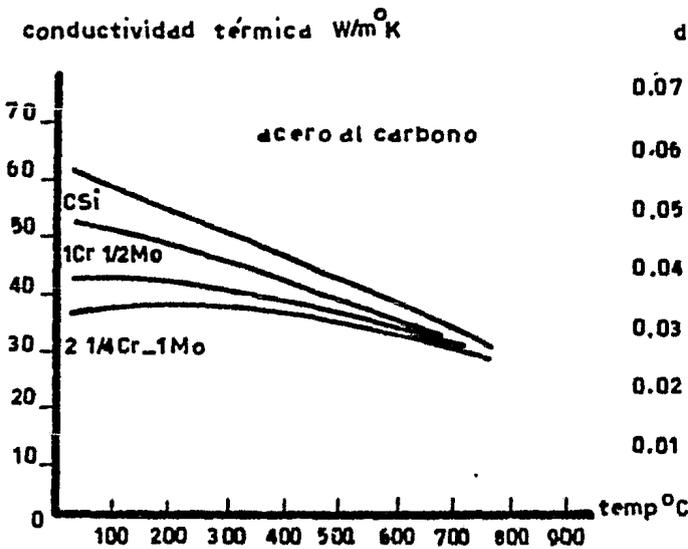


Fig.2 - Conductividad térmica λ de aceros al carbono y baja aleación en función de la temperatura.

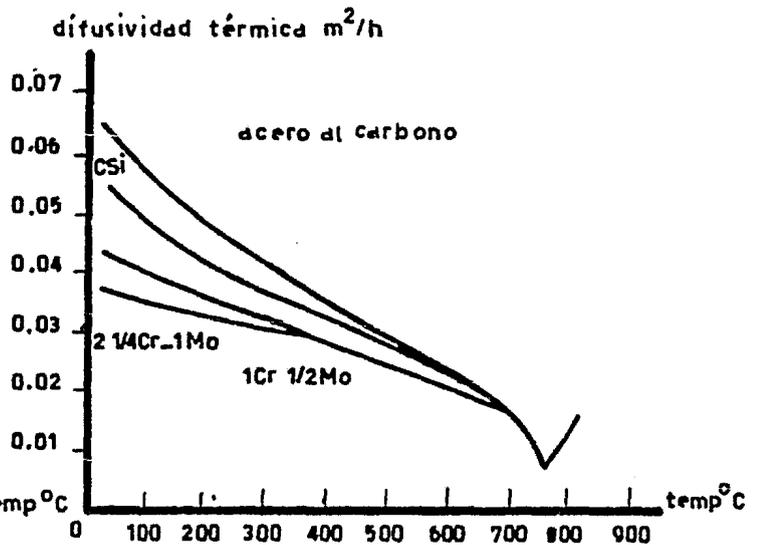


Fig.3 - Difusividad térmica $\alpha = \lambda/\rho C$ de aceros al carbono y baja aleación en función de la temperatura.

Capacidad térmica y conductividad térmica de metales y aleaciones.									
Metales y aleaciones	temperatura °C	masa volumétrica Kg/m ³	conductividad térmica W/m°C	capacidad térmica KJ/Kg°C	Metal y aleacion	temperatura °C	masa volumétrica Kg/m ³	Conductividad térmica W/m°C	capacidad térmica KJ/Kg°C
Aceros no aleados	20	7800	53.5	0.460	Cobre	20	8900	384	0.398
	400	7800	42.5	0.627		300	8900	366	0.419
(0.3 - 0.5) Mo	20	7800	47.6	0.460	Cuproniquel				
	500	7800	35.5	0.627					
(0.5 - 1.0) Mo	20	7800	44.2	0.640	70Cu - 30Ni	20	8900	29.1	0.380
	500	7800	36.6	0.627	90Cu - 10Ni	20	8900	44.7	0.380
(2.25Cr - 1.0)Mo	20	7800	38.4	0.460	Mone1				
	600	7800	29.1	0.627					
(18Cr - 10Ni - Ti)	20	7900	14.5	0.481	30Cu - 70Ni	20	8900	22.1	0.540
	500	7900	21.0	0.607		500	8900	37.2	0.540
Aluminio comercial	20	2700	204	0.879	Niquel 330	20	8900	61.6	0.640
	300	2700	233	1.025	Titanio	20	4500	20.9	0.540

TABLA 1

riación brusca más allá de 700°C.

Se da a título de ejemplo las curvas teoricas del acenso de temperatura estableciendo después las "tablas de Russel" para los redondos de acero de diámetro 400 [mm] (fig 4).

B) DIFICULTADES DE APLICACION PRACTICA

Las fórmulas teoricas nos permite el calcular con una precisión suficiente las curvas de acenso de temperatura en el caso general la más frecuente, de una carga relativamente masiva con relación al poder de un horno y de una transmisión de calor por radiación, con una parte variable y mal conocida de conducción y de convección.

La figura 5 describe sistemáticamente por otra parte los registros de temperatura en función del tiempo.

La curva T_f es relativa a la temperatura reinante en el recinto del horno. Esta temperatura decae bruscamente puesto que del enhornado de la carga y el restablecimiento al valor de regulación al final del tiempo t_1 . La curva T_s corresponde a la temperatura medida en la superficie al contacto inmediato con la carga. Esta temperatura aumenta progresivamente para alcanzar el valor de regulación al final de un tiempo t_2 .

Por último, la curva T_i corresponde al centro de la carga acendiendo todavía más lentamente, el tiempo necesario para atender la temperatura de regulación siendo t_3 .

$$t_3 > t_2 > t_1$$

Se concluye desde entonces y a una dificultad intrinseca en definir la duración de acenso de la temperatura y a una fuente permanente de error, si no se toma cuidado de precisar a aquella de las tres variables t_1 , t_2 o t_3 al valor que se refiera.

Esta es una razón, entre muchas otras, para no aplicar indiscriminadamente las diferentes fórmulas empíricas que se encuentran en la literatura. Es esto deseable, antes de aplicar semejantes fórmulas, se informan las condiciones precisas cuando ellas esten establecidas y, cada vez que sea posible, se procedera a comparar los registros de temperatura en el centro de la carga y no solamente en la superficie.

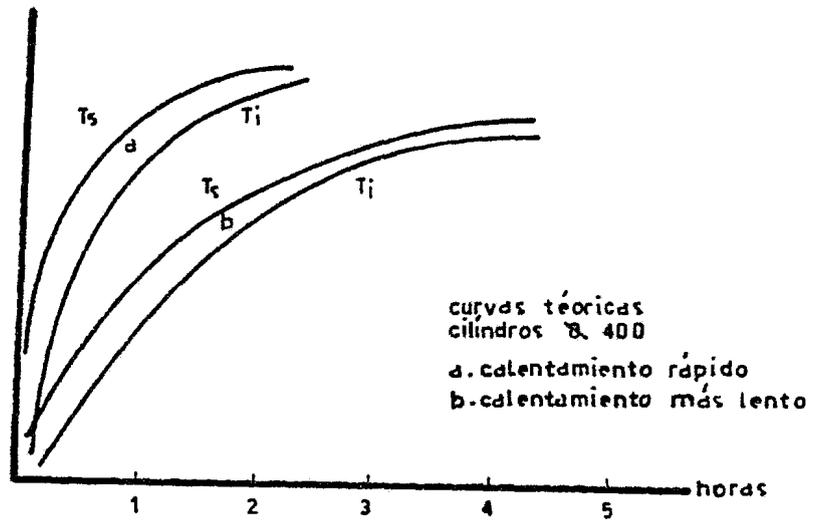


Fig. 4. Curvas de ascenso de temperatura (centro y superficie).

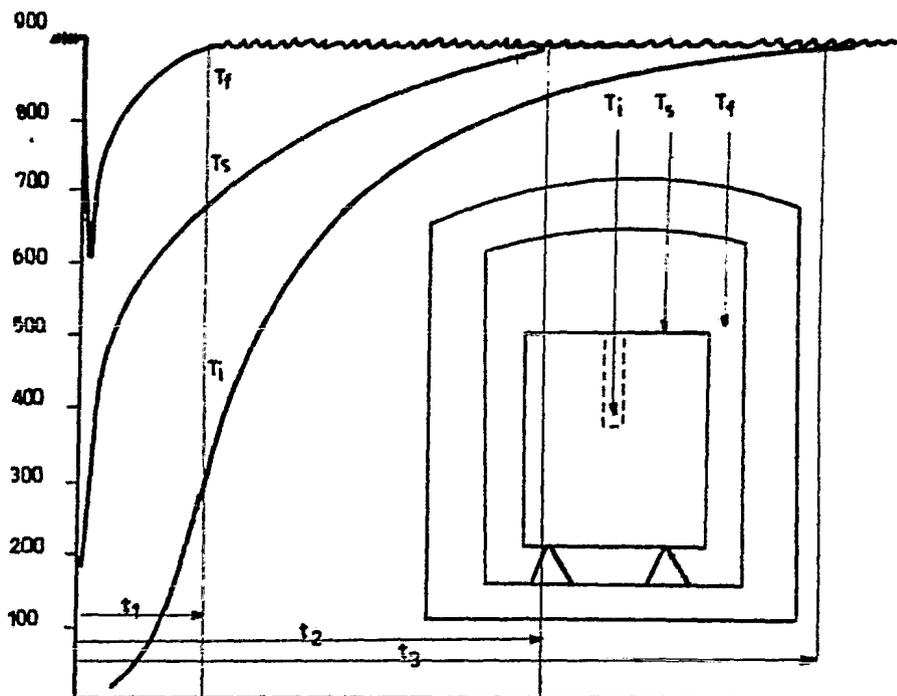


Fig. 5. Registro de temperaturas en un horno (schéma).

2. DURACION DE MANTENIMIENTO DE LA TEMPERATURA

La mayor dificultad es el definir cuál es el momento donde termina el calentamiento y donde se inicia el mantenimiento de la temperatura. Esto es de poca importancia cada vez que el acenso de temperatura es relativamente rápido (caso de piezas pequeñas), más por contra, para las cargas compactas, y para las piezas de dimensiones importantes, se está induciendo a tomar los márgenes importantes para producir duración de mantenimiento mínimo, por consecuencia, pese a la incertidumbre de saber donde se le encontrará en el momento donde la temperatura de consigna verdaderamente alcanza el corazón de la carga y el de la pieza es que se opta por tomar dichos márgenes.

Para la ejecución de ciertos tratamientos térmicos, se puede tener la elección entre un tiempo de permanencia largo, o una temperatura base, y un tiempo de permanencia corto a una temperatura sensiblemente más elevada; la experiencia permite en este caso el establecer las fórmulas de equivalencia duración - temperatura. Se concluye que se puede, a partir de estas fórmulas, evaluar el efecto de un ciclo de temperatura, comportandose en acenso un mantenimiento y un inicio de enfriamiento lento, la similitud de la curva a una serie de escalones conforme al esquema de la figura 6, el ciclo térmico representado equivale a una permanencia de duración t_c a la temperatura T_c (o de t_b a T_b o t_a a T_a).

3. CURVAS DE ENFRIAMIENTO

A) PRIMERA APROXIMACION TEORICA

Las leyes de transmisión de calor son variables "en los dos sentidos" estas se aplican de la misma manera al calentamiento y al enfriamiento e invirtiendo simplemente los signos de diferencia de temperatura entre la pieza y el medio exterior.

En particular, si la cantidad de calor provista por la pieza al medio exterior es proporcional a la diferencia de temperatura $\Delta q = S \alpha (T_s - T_f) \Delta t$ se asegura una ley exponencial de variación de temperatura:

$$T = T_f + (T_o - T_f)e^{-kt} \quad \text{con} \quad k = \alpha / C_p \times S / V$$

y la duración del enfriamiento, todos los casos iguales por otra parte, serán proporcionales a la relación $[V/S]$.

Es conveniente sin embargo el acordarse que este dominio no es aplica -

ble si es a un gradiente de temperatura elevado en curso de enfriamiento. Subrayando que los tratamientos térmicos industriales los más corrientemente utilizados son los calentamientos relativamente lentos, con velocidades medias de ascenso de temperatura comprendidas a grosso modo entre el grado centigrado a el minuto. Se pasara de lado voluntariamente los procedimientos de calentamiento superficial (calentamiento por inducción, calentamiento por laser, por bombardeo electrónico, etc...) del cual la meta es crear precisamente un gradiente de temperatura extremadamente elevado en la capa superficial del metal.

Por lo contrario, para las aplicaciones muy numerosas y muy importantes se busca obtener los enfriamientos muy rápidos, caracterizados por la velocidad de enfriamiento del orden de la centena de grado al segundo. Es evidente que la hipótesis de partida no es más valedera, y que le falta utilizar un modelo matemático más complejo faltando intervenir notablemente la notación de difusividad térmica.

B) EL TEMPLE: TEORIA MATEMATICA

Como primera aproximación se puede emplear el mismo modelo matemático que para el calentamiento. Las curvas de enfriamiento, para un cilindro de diámetro D , pueden ser establecidas en función de dos parámetros, la difusividad térmica $\alpha = \lambda/Cp$ y un coeficiente H caracterizando la severidad del temple ($\alpha =$ coeficiente de transmisión de calor - λ conductividad térmica). Los valores de H se escalonan entre $H=1$ (temple al agua enérgico) y $H=1/100$ (enfriamiento al aire).

Veremos (figs 7a,b,c y d) algunas muestras de estas curvas teoricas.

Gracias a los resultados de cálculo en orden, es posible definir el modelo matemático, para buscar acercar más la realidad física. El aparente efecto, en el estado actual de nuestro conocimiento, que la notación de severidad de temple es bastante más compleja porque el factor H lo traducira de manera satisfactoria.

TEORIA FISICA DEL TEMPLE

Dentro del caso el más frecuente: el temple al agua o temple al aceite, se distinguen tres fases sucesivas de enfriamiento (fig 8). En la primera fase, denominada de modo bastante impropio calefacción, la superficie de la pieza esta rodeada de una cubierta de vapor que frena sensiblemente los cambios térmicos.

En la segunda fase ebullición, la cubierta de vapor desaparece, y se da un enfriamiento particularmente enérgico provocado por la ebullición del medio de temple en contacto directo con el metal,

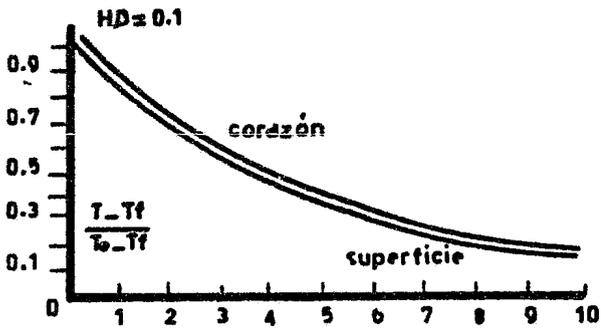


Fig.7a. Aspecto de las curvas de enfriamiento de redondos para $HD=0.1$ $4at/D^2 = \tau$

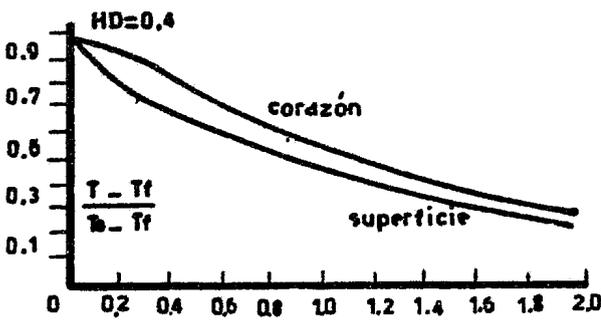


Fig.7b. Aspecto de las curvas de enfriamiento de redondos para $HD=0.4$ $4at/D^2 = \tau$

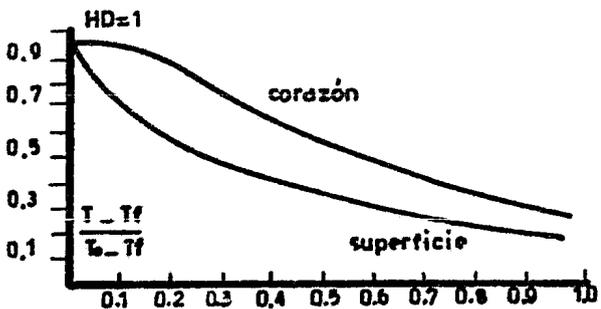


Fig.7c. Aspecto de las curvas de enfriamiento de redondos para $HD=1$ $4at/D^2 = \tau$

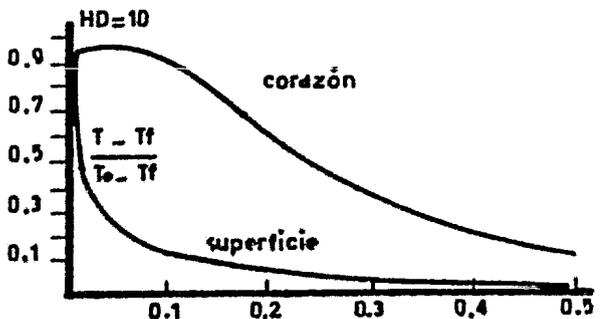


Fig.7d. Aspecto de las curvas de enfriamiento de redondos para $HD=10$ $4at/D^2 = \tau$

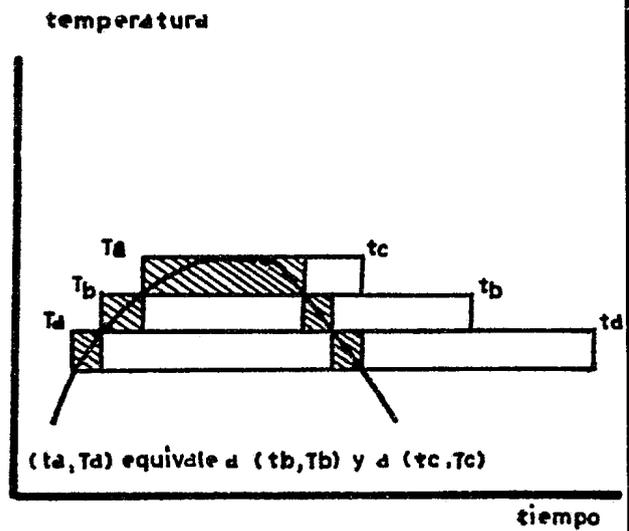


Fig. 6. Equivalencia tiempo - temperatura

Esta fase se termina cuando la temperatura de la superficie desciende por debajo de la temperatura de ebullición del líquido de temple. Ella hace lugar entonces a la última fase, dentro de aquellas los cambios térmicos se forman por convección, con la velocidad de enfriamiento decreciendo progresivamente poco a poco y a medida que se aproxima al equilibrio térmico.

Este fenómeno hecho con el objeto de estudios a profundidad. Se puede citar en Francia el trabajo del equipo de Nancy y el CETIM.

Las figuras 9, 10 y 11, dan ejemplos de curvas de enfriamiento registradas en probetas metálicas de pequeños diámetros templadas en diferentes condiciones. Se distinguen netamente las tres fases, más se constatan las variaciones importantes de una curva a otra, en esta que concierne notablemente a las velocidades de enfriamiento y la importancia relativa de las dos primeras fases (calefacción - ebullición). La influencia de la agitación en las velocidades instantáneas de enfriamiento aparecen netamente en la figura 12.

No se pueden evidentemente transponer sin precaución los resultados obtenidos en las condiciones bien codificadas en el laboratorio del conjunto de tratamientos industriales.

Para estos últimos, desgraciadamente, y es particularmente difícil de medir directamente la temperatura de las piezas en curso de temple, notablemente en las instalaciones automáticas con cubetas de temple incorporadas.

Los raros datos precisos de que se dispone concernientes a las piezas relativamente masivas de formas simples, esencialmente de cilindros templados unitariamente (fig 13).

Se constata que las curvas obtenidas en las condiciones se apartan de las curvas teóricas, y esta tanto más cuando el enfriamiento es más enérgico (fig 14).

CONCLUSION PRACTICA

La manera más simple de caracterizar el enfriamiento es de definir la velocidad media, el trazo de curvas muy diferentes desgraciadamente se puede obtener para un mismo valor de esta velocidad media: es decir de velocidades de enfriamiento instantáneo muy variable, de un instante a otro, según el medio de temple, la agitación, las dimensiones de la pieza, el estado de la superficie, etc...

La utilización de criterios más elevados de la "severidad del temple" asociados a un conocimiento más profundo de los fenómenos físicos, permiten el crear la realidad.

- 1: entriamiento por calentamiento.
- 2: entriamiento por ebullición del núcleo.
- 3: convección natural.

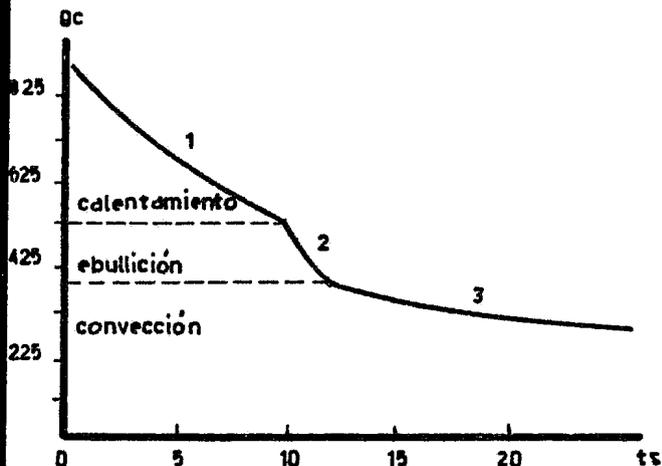


Fig. 8. Enfriamiento del centro de una probeta de plata de \varnothing 16mm y h 48mm, templada después a 950 °C en un aceite blanco parafínico tomado a 50 °C.

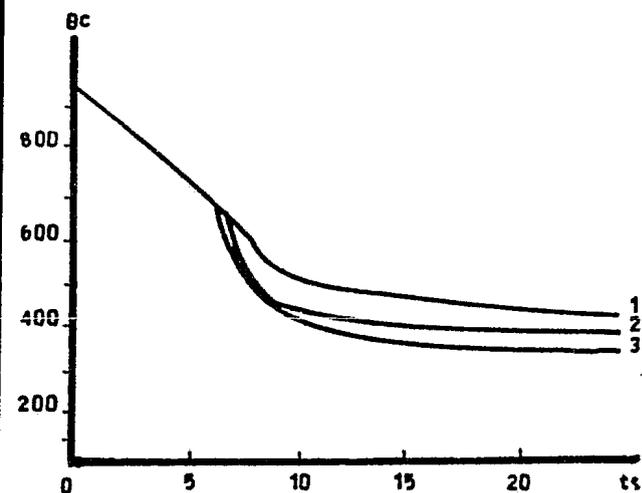


Fig. 9. Enfriamiento de las probetas de plata en un aceite parafínico 5E50 a 150 °C.

- 1: aceite puro.
- 2: aceite adicionado con 4% de agente tensioactivo.
- 3: aceite adicionado con 4% de agente tensioactivo después de envejecer.

- 1: transición calentamiento ebullición.
- 2: inicio de la convección.

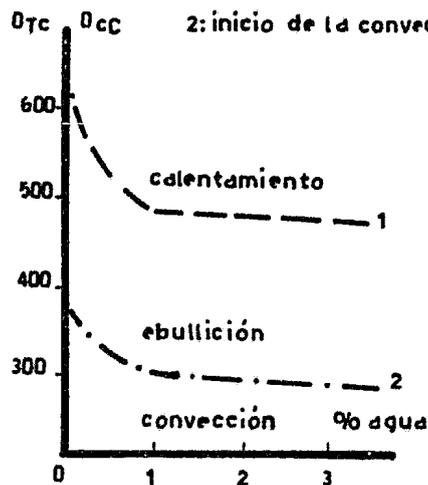


Fig. 10. Influencia del agua en la temperatura de transición de un aceite parafínico 2E50 a 80 °C.

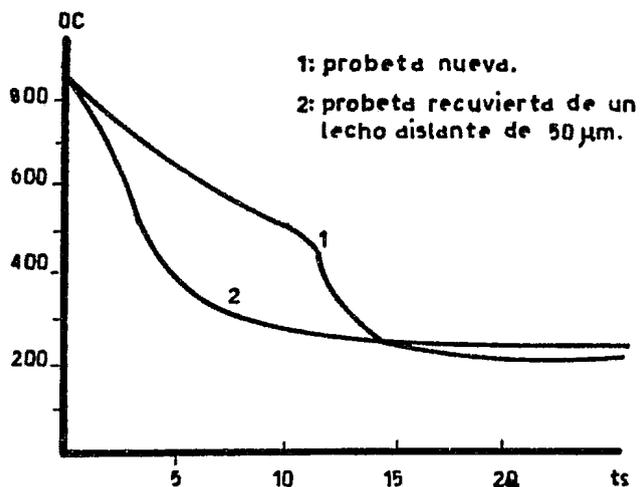


Fig. 11. Enfriamiento de la probeta en plata templada después a 850 °C.

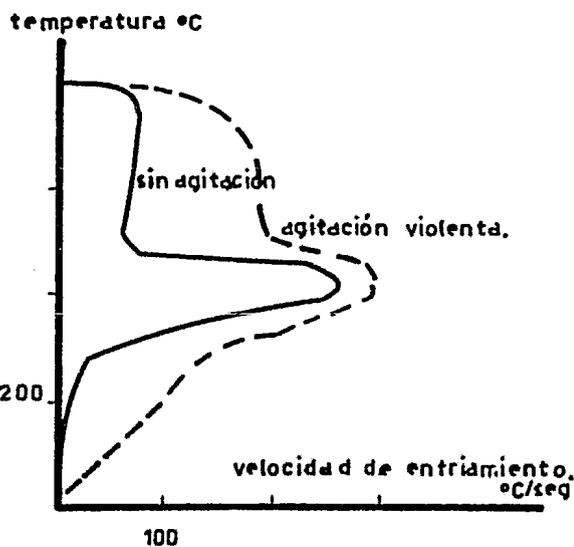


Fig. 12. Efecto de agitación en la drásticidad de un aceite.

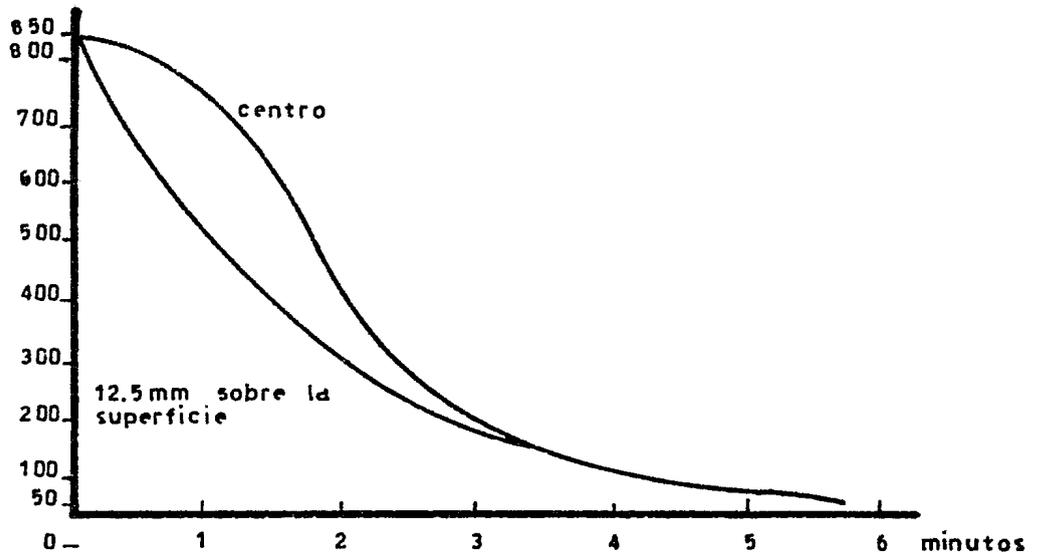


Fig. 13_ Redondo \varnothing 100 mm. Acero al carbono SAE 1045. Temple al agua sin agitación.

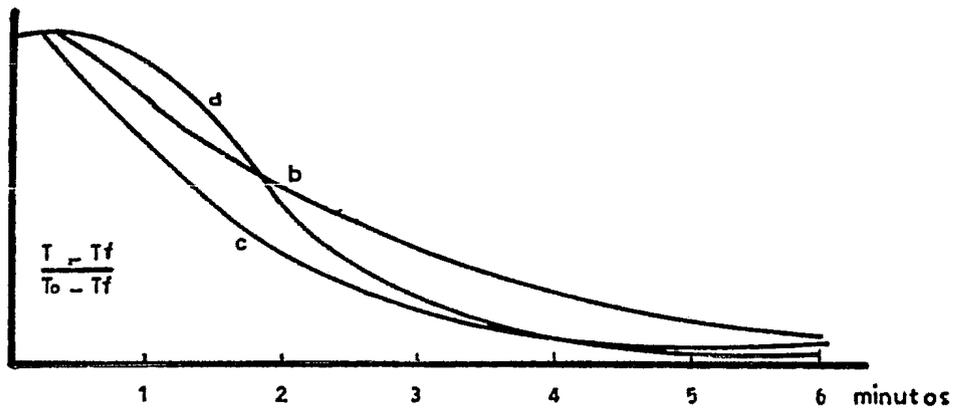


Fig. 14_ Curvas de enfriamiento del centro. Cilindro \varnothing 100 mm acero al carbono.

- a : curva experimental. Temple en agua calmada.
 b : curva teórica dos parámetros para la misma H
 c : curva teórica o dos valores para la misma H.

A pesar de todo, la complejidad de los fenómenos y la dificultad de medir las curvas de enfriamiento relacionadas en el caso de tratamientos industriales incisten en la prudencia de la aplicación de curvas de enfriamiento establecidas con la ayuda de teorías las más recientes.

Un análisis a profundidad de cada caso en particular es indispensable.

Añadiremos que la complejidad de transformación que interviene en el curso del temple de aceros necesita de hacer este análisis según el doble aspecto de la termica y de la metalurgia.

2

—
—
ENFRIAMIENTO
—
—

INFLUENCIA DEL MEDIO DE ENFRIAMIENTO

El medio de enfriamiento, junto con el tamaño y forma de las piezas, son, los factores que deciden la velocidad de enfriamiento de las piezas de acero en los tratamientos térmicos.

Con el enfriamiento en agua salada muy agitada, se consiguen las mayores velocidades, y enfriando las piezas dentro del horno, se obtienen las menores.

Con enfriamientos en aceite, al aire, en sales, etc se consiguen velocidades intermedias, pudiendose elegir entre todos ellos el medio que mejor cumpla las condiciones de enfriamiento deseado en cada caso.

En la figura 1. las velocidades instantáneas que se obtienen en el centro de redondos de diversos diámetros templados en aceite y agua muy agitada. En esta última figura se observa que desde el comienzo del proceso va aumentando la velocidad de enfriamiento hasta la zona $730^{\circ} - 680^{\circ}\text{C}$, aproximadamente, donde alcanza un máximo, disminuyendo luego progresivamente hasta la temperatura del baño. Existiendo una zona entre 600° y 800°C en la que las variaciones de las velocidades son relativamente muy pequeñas.

En la tabla I se da una idea de la influencia de los diversos medios que se emplean para el temple de los aceros.

Conviene recordar que en los tratamientos térmicos la velocidad de enfriamiento varía bastante de unos momentos a otros, y por lo tanto, siempre que se cite una velocidad debe señalarse a que momento corresponde.

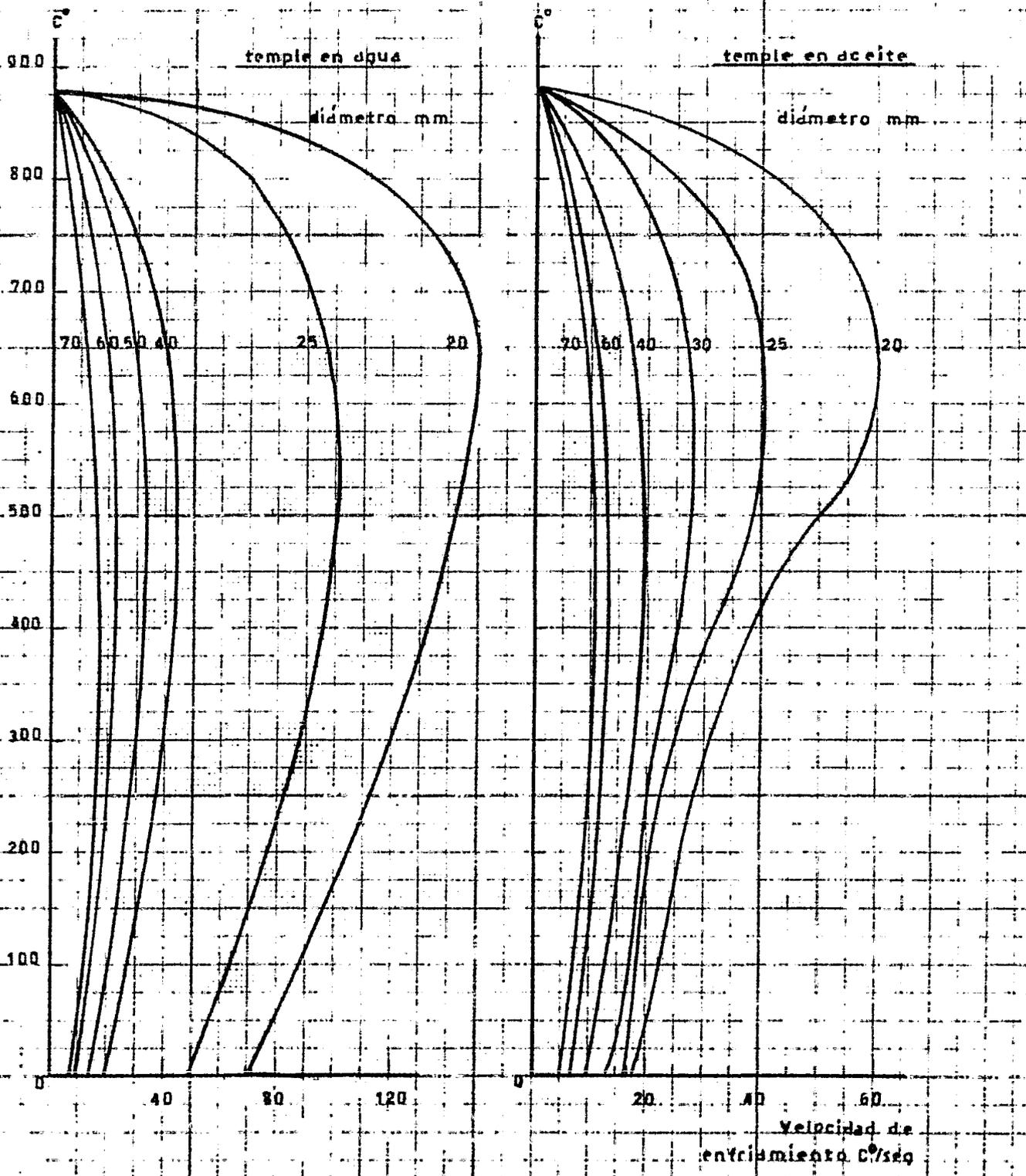
En la figura 1, por ejemplo, se ve que el centro del redondo de 20 mm, templado en agua muy agitada, tendrá a 850° una velocidad de enfriamiento de 80° por segundo; a 800° una velocidad de 140° por segundo; a 700° , 152° por segundo, y a 400° , 82° por segundo.

Otras veces se señala la velocidad media de enfriamiento en un intervalo de temperatura determinado, así por ejemplo, en el caso anterior la velocidad media en el intervalo $700^{\circ} - 400^{\circ}$ es de 117° por segundo. Cuando no se indica a que momento corresponde una determinada velocidad, suele sobreentenderse que es la media en el intervalo $725^{\circ} - 500^{\circ}\text{C}$.

CARACTERISTICAS DE LOS PROCESOS DE ENFRIAMIENTO EN EL TEMPLE DE LOS ACEROS

Para conocer la influencia que sobre el temple ejercen los diferentes

FIGURA 1



Medio de enfriamiento	Velocidades relativas de enfriamiento en el intervalo	
	720°-550°	200°
Solución acuosa con 10% de ClLi	2,07	1,04
Solución acuosa con 10% de NaOH	2,06	1,36
Solución acuosa con 10% de CO ₃ Na ₃	1,96	0,98
Solución acuosa con 10% de ClNa	1,38	1,09
Solución acuosa con 10% de H ₂ SO ₄	1,22	1,49
Agua a 0°	1,06	1,02
Agua a 18°	1,00	1,00
Mercurio	0,78	1,09
Agua a 25°	0,72	1,11
Aceites	0,25 - 0,15	0,05 - 0,15
Agua con jabón	0,07	1,16
Agua a 75°	0,06	1,31
Agua a 100°	0,044	0,71
Aire	0,02	0,007
Vacío	0,011	0,004

En esta tabla se ha tomado como unidad de velocidad de enfriamiento en el intervalo 720° - 550° la correspondiente al agua a 18°, que es de 1810° por seg. y en la zona de los 200° también la correspondiente al agua a 18°, que es de - 450° por seg.

medios de enfriamiento, es interesante estudiar las diversas etapas que se presentan en otros procesos.

Pilling y Lynch al determinar las curvas de enfriamiento del acero empleando diversos medios refrigerantes, estudiaron las variaciones que experimentan los poderes de enfriamiento de los líquidos en los procesos de temple en función de la temperatura del acero. Sus observaciones, revelan la existencia de tres mecanismos muy diferentes de disipación del calor, comprobados por Spherth y Lange, que se explican a continuación.

En la figura 2. puede verse una curva típica de enfriamiento, correspondiente a un cilindro de acero de poco diámetro, templado en agua a 76°C . Se observa que la velocidad de enfriamiento, que al principio es lenta, va aumentando, alcanza un máximo y luego disminuye, llegando por fin a igualarse la temperatura del acero y la del líquido, advirtiéndose tres fases muy importantes, cuyas características se explican a continuación.

PRIMERA ETAPA.- Cuando el acero es introducido en el líquido, como su temperatura es muy alta, forma una capa de vapor que rodea el metal y el enfriamiento se realiza por conducción y radiación a través de la capa gaseosa. El enfriamiento en el comienzo de esta fase es relativamente lento, influyendo en ello principalmente la temperatura y el punto de ebullición del líquido y también la conductividad del vapor.

SEGUNDA ETAPA.- Cuando desciende la temperatura de la superficie del metal, la película de vapor va desapareciendo. Sin embargo, el líquido hierve todavía alrededor de las piezas y se forman burbujas que rodean al acero. Estas burbujas son transportadas por gravedad y por corrientes de convección, el vapor se va separando de la superficie de la pieza y va siendo remplazado por el líquido. Esta es la etapa de más rápido enfriamiento y es llamada de enfriamiento por transporte de vapor.

En ella influyen el calor de vaporización y la viscosidad del líquido y la agitación del baño o de la pieza.

TERCERA ETAPA.- Esta etapa se presenta generalmente por debajo de 300°C . El enfriamiento lo hace el líquido por conducción y convección, cuando la diferencia de temperatura, entre la superficie y el medio refrigerante es ya pequeña. Esta etapa se llama de enfriamiento por líquido y es más lenta que las anteriores, dependiendo

su importancia de la conductividad del líquido y de su agitación.

Resumiendo, se puede decir que en esas diversas etapas el enfriamiento se realiza en las siguientes formas:

1° etapa.- Conducción y radiación a través de la capa gaseosa.

2° etapa.- Transporte de vapor.

3° etapa.- Conducción y convección del líquido.

Por tanto, las propiedades que más influyen en el poder templante de los líquidos son: su temperatura de ebullición, su conductividad térmica, su viscosidad, su calor específico y su calor de vaporización.

La temperatura de ebullición es muy importante en la primera etapa, el calor de vaporización en la segunda y la conductividad térmica en la tercera. La viscosidad también influye en la velocidad de enfriamiento en la segunda y tercera etapa.

En las soluciones acuosas, la duración de la primera fase depende de la temperatura del líquido, y como para conseguir que los aceros templen, esta fase debe ser lo más corta posible para evitar que en la zona de los 650° a 500°C se formen estructuras blandas, se comprende la necesidad de que el agua no se caliente ni pase de los 30°C. Cuando el agua está caliente, se prolonga demasiado el enfriamiento por vapor y aparecen puntos blandos.

Es apreciable la ventaja de la adición de [ClNa] al agua y el excelente comportamiento de los aceites y del ácido sulfúrico. Este ácido conserva a todas las temperaturas, la fase de enfriamiento de vapor relativamente corta, por lo que teóricamente es el mejor de todos, pero su gran poder corrosivo impide su utilización.

ELECCION DEL MEDIO DE TEMPLE

Para obtener en el temple de los aceros los mejores resultados, conviene utilizar el medio de enfriamiento menos enérgico que sea capaz de comunicar al acero una velocidad de enfriamiento superior a la crítica. De esta forma, se consigue una estructura totalmente martensítica, la máxima dureza compatible con su composición y se evita en lo posible las grietas y deformaciones. En los enfriamientos rápidos siempre existe el peligro de que se creen tensiones, debido al desigual enfriamiento de las piezas, ya que la periferia se enfría rápidamente, mienu

tras que en el corazón el acero está todavía a elevada temperatura. En los enfriamientos lentos, en cambio, la temperatura es más uniforme en toda la masa de las piezas, y son menos frecuentes las grietas y deformaciones.

Antiguamente el temple se efectuaba siempre por enfriamiento rápido de los aceros en agua; entonces se empleaban exclusivamente los aceros al carbono, con el inconveniente de que cuando las piezas eran complicadas aparecían con frecuencia deformaciones y grietas. Cuando los perfiles eran delgados e irregulares, tampoco se podían enfriar bruscamente por que se agrietaban. Entonces se enfriaban en aceites o por otro procedimiento, pero a veces no se conseguía la dureza deseada.

A mediados del siglo XIX se inventaron los aceros especiales, en los que debido a la larga presencia de ciertos elementos, como el cromo, níquel, tungsteno, etc., las velocidades críticas de temple son muy bajas y se pueden obtener con ello gran dureza, aunque el enfriamiento no se haga muy rápidamente.

Estos aceros aleados se templean generalmente en aceite o en baño de sales.

Las velocidades críticas de temple varían bastante de un acero a otro. Los aceros al carbono exigen las mayores velocidades, que son aproximadamente, para 0,5% de C, 350° por segundo para 0,80% de C, 200° por segundo. En cambio, los aceros especiales tienen velocidades de temple más pequeñas. Así, por ejemplo, la de un acero para brocas de bajo contenido de tungsteno es, aproximadamente de 35° por segundo.

En general, se templean en agua todos los aceros al carbono en piezas de más de 5 o 10 mm- de espesor y también los aceros de poca aleación en espesores superiores a 25 mm.

Debe utilizarse agua a 15° o 20°C, no debiendo sobrepasar los 30°C.

3

**MEDIOS
DE
ENFRIAMIENTO**

MEDIOS DE ENFRIAMIENTO MAS EMPLEADOS EN EL TEMPLE DE LOS ACEROS

AGUA. _ Debe evitarse que el agua se caliente durante el temple. Conviene que la temperatura del agua oscile entre 15° y 20°C, pues si la temperatura es superior a 30°C, se prolonga exageradamente la primera etapa de enfriamiento, lo que es un gran inconveniente, porque con ello disminuye la velocidad de enfriamiento en la zona 750 - 500°C y se favorece sobre todo en los aceros de poco poder templante, la formación de estructuras blandas.

ACEITE. _ Se suelen emplear aceites animales, vegetales y minerales.

Antiguamente se usaban aceites sólo de los dos primeros grupos y entre ellos los aceites vegetales, y sobre todo el aceite de colza hera el preferido.

Los aceites animales y vegetales con el uso continuo a temperaturas de 50 a 125°C se descomponen, espesan y se vuelven gomosos dando temple bastante irregulares.

Los mejores aceites para el temple son los minerales obtenidos en la destilación fraccionada del petróleo.

Un buen aceite de temple debe poseer las siguientes propiedades:

1.- Su viscosidad debe estar comprendida entre ciertos límites. Si el aceite es demasiado viscoso, la película de aceite próxima a la superficie del metal tiende a carbonizarse, por que las corrientes de convección son muy lentas. Esa carbonización disminuye el poder refrigerante del aceite y limita su utilización. Si la viscosidad es baja, el aceite debe adherirse menos a la superficie pero se volatiliza rápidamente con la consiguiente pérdida de líquido. Por tanto la viscosidad debe estar comprendida entre ciertos límites, que a la temperatura ambiente son de 5 a 9° Engler, y a 50°C son de 2 a 4° Engler.

Con el uso, la viscosidad del aceite aumenta, llegando algunas veces después de varios meses de empleo a 15 o 30° Engler a la temperatura ambiente, siendo necesario evitar el uso de aceites de estas características.

2.- La volatilidad no debe ser demasiado elevada porque se pierde aceite con el uso y se espesa el baño, con la consiguiente pérdida en la velocidad de enfriamiento.

Además, un aceite volátil, al ponerse en contacto con el metal caliente desprende numerosas burbujas y se forma mucho vapor alrededor de las piezas,

disminuyendo la velocidad de enfriamiento y prolongándose la fase de enfriamiento con vapor, que suele dar lugar a la aparición de puntos blandos.

3.- La temperatura de inflamación y combustión deben ser lo más elevada posible, para evitar excesivo humo en el taller y el peligro de que se inflame el baño.

En los aceites corrientes la temperatura de inflamación suele oscilar entre 180° y 275°C y la de combustión entre 200° y 325°C , considerándose las de 215° a 275°C como satisfactorias.

4.- Debe tener gran resistencia a la oxidación. Por selección del aceite crudo se puede fabricar aceites con una cantidad muy pequeña de hidrocarburos poco estables, que resisten en caliente mucho mejor que los demás la oxidación por el oxígeno del aire.

PLOMO. Hacen bastantes años se emplea este metal fundido para el temple. Las aplicaciones más generales son el temple de herramientas de aceros especiales y el temple de muelles, también se utiliza para el temple de alambres "cuerda de piano".

El plomo posee una gran conductividad, por lo cual el calentamiento del baño se hace rápidamente y también enfria con gran rapidez las piezas que se templean.

Su elevado peso específico es un inconveniente, ya que las piezas flotan y hay que preparar dispositivos especiales para que se introduzcan en el baño. Como el plomo se oxida fácilmente, hay que evitar que la superficie del baño este en contacto con la atmósfera, cubriéndolo con pequeños trozos de carbón vegetal.

MERCURIO. Para el temple de piezas muy delicadas, como instrumentos de cirugía, o para piezas de gran dureza, se emplea algunas veces el mercurio, pero su elevado peso específico y precio limitan sus aplicaciones.

SALES FUNDIDAS. Para el tratamiento térmico de los aceros, son cada día más empleadas las sales fundidas. Están constituidas principalmente por cantidades variables de cloruros, carbonatos, nitritos, nitratos y cianuros de sodio, potasio y bario, y se utilizan para temperaturas variables desde 150° a 1.300°C .

Unas veces, se usan como medio de enfriamiento y sustituyen con ventaja al aceite y al plomo fundido, y otras veces, en cambio, se utilizan para calentar las piezas y también para cementarlas o nitrurarlas.

Aunque aquí nos estamos refiriendo a medios de enfriamiento, y como ve-

remos a continuación, las sales en la mayoría de los casos se usan para el calentamiento, se citan aquí por utilizarse también algunas de ellas para enfriar.

De acuerdo con su utilización se pueden clasificar en seis grupos:

1.- Sales que se emplean en un intervalo de temperatura comprendido entre 150° y 400°C. Se suelen emplear con dos fines principales:

a) Para enfriar las piezas que han sido calentadas en horno a la temperatura de temple y al ser enfriadas en las sales sufrirán un temple, martempering, austempering, etc...

b) Para calentar durante el revenido piezas o herramientas templadas.

Para ambos usos se suelen emplear sales (L-1, L-2 y L-3) de la tabla II preparados principalmente a base de nitritos y nitratos. Son muy utilizadas: la mezcla de 56% de nitrato potásico $[\text{NO}_3\text{K}]$ y 44% de nitrito sódico $[\text{NO}_2\text{Na}]$, que funde a 147°C y puede utilizarse desde 160°C; y la mezcla de 51,3% de nitrato potásico y 48,7% de nitrato sódico $[\text{NO}_3\text{Na}]$, que funde a 217°C y puede usarse desde 245°C.

2.- Para calentar durante el revenido de herramientas y piezas a temperaturas comprendidas entre 400° y 600°C o para el enfriamiento, en tratamientos isotérmicos, se suelen emplear las sales (L-4 y L-5), constituidas generalmente a base de cloruro sódico, cloruro cálcico, cloruro bórico, carbonato sódico, etc...

3.- Sales que se emplean para el calentamiento en el temple de herramientas en el intervalo 700° a 950°C. Para este tratamiento se utilizan sales del tipo I de la tabla II, constituidas principalmente a base de cloruro bórico, cloruro potásico, cloruro sódico y cloruro cálcico, cuyo fin principal es evitar la decarburación de las herramientas durante el tiempo que dura el calentamiento.

Como durante el proceso de trabajo se suele modificar la composición del baño, de vez en cuando se añaden pequeñas cantidades de una sal rectificadora, utilizándose para ese fin borax, cianuro sódico o carburo de silicio.

Estas sales son parecidas a las del grupo (2), pero el contenido en cloruro bórico es a 50% es más elevado. A veces también se suelen preparar estas sales con pequeños contenidos de fluoruro sódico y carburo de silicio, inferior siempre al 5%.

- 4.- Sales que se emplean para cementar, constituidas principalmente por cianuros.
- 5.- Sales para nitrurar herramientas, constituidas principalmente por cianuro sódico y potásico.
- 6.- Sales para el calentamiento en el temple de aceros rápidos y de alta aleación del tipo H (tabla II). Estas sales que se utilizan a temperaturas muy elevadas de 1.000° a 1.300°C, suele estar constituida principalmente por cloruro bórico 95% aproximadamente y pequeños porcentajes de cloruro sódico.

Para evitar que con el uso se vuelvan descarburantes, se les añade periódicamente pequeñas cantidades de silice [SiO₂], en polvo.

A veces estas sales se preparan también con pequeñas cantidades de fluoruro cálcico, silice y bioxido de titanio, en cantidades inferiores siempre a 5%.

Designación	NaCl Cloruro Sódico	KCl Cloruro Potásico	BaCl ₂ Cloruro Bárico	NaNO ₃ Nitrato Sódico	NaNO ₂ Nitrato Sódico	KNO ₃ Nitrato Potásico	CaCl ₂ Cloruro Cálcico	NaCN Cianuro Sódico	Na ₂ CO ₃ Carbonato Sódico	KCN Cianuro Potásico	Temperatu- ra de tu- sión	Temperatu- ra reco- mendable
L_1	_____	_____	_____	_____	40 50	50 60	_____	_____	_____	_____	140	160 650
L_2	_____	_____	_____	40 50	_____	50 60	_____	_____	_____	_____	220	260 630
L_3	_____	_____	_____	96 min	_____	_____	_____	_____	_____	_____	370	400 650
L_4	30 40	_____	_____	_____	_____	_____	_____	15 40	30 50	_____	549	620 815
L_5	15 25	_____	25 35	_____	_____	_____	45 55	_____	_____	_____	480	510 760
L_1	45 55	45 55	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	675	735 898
L_2	15 25	20 30	50 60	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	595	675 925
L_3	20 30	_____	70 80	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	705	760 925
L_4	10 20	_____	80 90	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	760	815 1095
H_1	_____	_____	98 min	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	980	1035 1340
H_2	4 8	_____	92 96	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	870	955 1260
C_1	4 max	_____	_____	_____	_____	_____	_____	96 min	4 max	_____	620	785 955
C_2	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	4 max	96 min	620	785 955
C_3	_____	5 10	40 50	_____	_____	_____	_____	35 40	_____	_____	620	840 955
C_4	15 25	_____	_____	_____	_____	_____	_____	45 50	20 30	BaCO ₃	620	815 955
C_5	20 30	_____	15 25	_____	_____	_____	_____	30 40	20 30	_____	620	785 895
C_6	10 15	_____	_____	_____	_____	_____	_____	70 80	10 15	_____	620	815 955
C_7	15 25	_____	_____	_____	_____	_____	_____	60 70	15 25	_____	620	815 955
C_8	40 50	_____	_____	_____	_____	_____	_____	40 50	5 10	_____	620	815 955
C_9	_____	60 70	_____	_____	_____	_____	_____	30 40	_____	_____	495	525 675
C_10	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	55 65	_____	_____	495	525 675

PORCENTAJE EN PESO

Composiciones, temperaturas de fusión de diversas sales.

TABLA II

4

CARACTERIZACION DE LAS
PROPIEDADES DE LOS
FLUIDOS DE TEMPLE

La necesidad de una caracterización en el laboratorio de las propiedades de los líquidos de temple: aceites o soluciones acuosas, aparece desde hace largo tiempo indispensable para permitir a los fabricantes ponerse a punto de los nuevos productos y a los usuarios de evaluar la calidad de los productos a las condiciones de entrega en servicio. Dentro de este objetivo de numerosas pruebas en verano desarrolladas. Para facilitar los diálogos indispensables, este aparece después en el plan francés e internacional de repertorio de pruebas y normas por otra parte y utilizable para los fluidos de temple y de fijar precisamente las condiciones de nuevas pruebas específicas. Estas tentativas son actualmente efectuadas del plan francés dentro del marco del Grupo de trabajo "Fluidos de temple" de la comisión A.T.T. - S.F.M. y en el plan internacional dentro del marco de trabajo "Medios enfriantes rápidos" de la A.T.T. (Asociación Internacional de Tratamientos Térmicos).

Presentaremos en este texto los resultados de dos acciones de empresas de este dominio:

- las tentativas de caracterización de los aceites de temple manejado a un plan nacional por el grupo de trabajo A.T.T. - S.F.M.

Una experiencia más limita el camino por la CETIM dentro del dominio de la caracterización de soluciones acuosas de productos orgánicos utilizados en temples masicos.

1.- CARACTERIZACION DE ACEITES DE TEMPLE

Un aceite de temple esta constituido por un aceite de base en general mineral de tendencia variable (parafínico, nafténico, mixto) y diferentes aditivos: aceites animales o vegetales (mezcla), antioxidantes, emulsificantes.

El producto comercial poseido luego en el plan de sus propiedades de empleo en particular de su poder enfriante, su viscosidad, su estabilidad da las características muy variables. Para establecer un lenguaje común entre el proveedor y el utilizador luego es necesario el definir un cierto número de pruebas físicas químicas que permiten calificar un producto y de prejuguar sus propiedades de empleo.

La tabla 1, dado que la lista de pruebas aplicables de aceites de temple, los detalles de interpretación de sus resultados ya estan publicados.

Las pruebas normalizadas aplicables al conjunto de productos petroleros permiten la clasificación de productos en familia [tabla 2] donde las principales propiedades físicas - químicas figuran en la [tabla 3]. Más estas características

Característica	Método de prueba	Expresión	Unidad
Aspecto	Exámen visual	Descripción	-----
Color	NFT 60 - 104	Numérica	Adimensional
Drasticidad	ATTT/SFM	Gráfica	°C
Índice de viscosidad	NFT 60 - 136	Numérica	Adimensional
Lavabilidad	Método no definido	-----	-----
Índice de acidez	NFT 60 - 112*	Numérica	mgKOH/g
Índice de saponificación	NFT 60 - 110	Numérica	mgKOH/g
Masa volumétrica	NFT 60 - 101	Numérica	Kg/m ³
Contenido en azufre	NFT 60 - 108	Numérica	%
Contenido en agua	NFT 60 - 113 Método Karl Fisher	Numérica	%
Contenido en cenizas	NFM 07 - 045	Numérica	%
Cenizas sulfatadas	NFT 60 - 143	Numérica	%
Contenido en asfal - - tos	NFT 60 - 115	Numérica	%
Espectro infrarojo	-----	Gráfico	-----
Residuo Conradson	NFT 60 - 116	Numérica	%
Punto de ignición en vaso abierto	NFT 60 - 118	Numérica	°C
Viscosidad cinemática a 40 y 100°C	NFT 60 - 100	Gráfica	mm ² /s cSt
Volatilidad atmósfe - rica	NFM 07 - 002	Gráfica	-----
Resistencia a la oxi - dación o a la degrada ción térmica	Método no definido	-----	-----

MÉTODOS DE PRUEBAS DE ACEITES DE TEMPLE

TABLA 1

* método colorimétrico

no son paso suficiente para caracterizar las propiedades de empleo y se puede anotar en la tabla la presencia de ciertas pruebas específicas de aceites de temple:

- drasticidad o poder de enfriamiento:
- resistencia a la oxidación y a la degradación térmica.
- lavabilidad para los aceites llamados lavables.

El grupo de trabajo con el fin de poder definir las condiciones de esas pruebas particulares y de probar sus posibilidades, sólo a este aspecto, las pruebas de drasticidad que aparecen como las más características de las propiedades de empleo, sólo a estas se define precisamente en el marco de un documento de trabajo que se añadira en el resumen más adelante, [tablas 1, 2, 3]

PRUEBAS DE DRASTICIDAD

1.- DEFINICION

La drasticidad de un aceite de temple representa su aptitud a enfriar una masa metálica que probablemente caliente a una temperatura superior al punto final de ebullición del aceite.

Esta aptitud a enfriar, cuenta firme de la constancia de propiedades de transferencia térmica de diferentes modos, calefacción, ebullición nucleada, convección, esta sobre todo condicionada por los valores de temperatura transición, calefacción-ebullición, y ebullición nucleada - convección. (θ_1 y θ_2) (Cf fig.2)

2.- PRINCIPIO DE LAS PRUEBAS

Un captador consiste de una probeta cilíndrica de plata conteniendo en su centro cobre termoeléctrico este funde en su centro a 800°C además sumergida dentro de un aceite a probar.

El cobre termoeléctrico une a dos registros gráficos, permite seguir la evolución de la temperatura del captador, una curva de enfriamiento en función de la temperatura o de la velocidad de enfriamiento.

3.- MANIOBRAS

Las maniobras comprendidas esencialmente son:

- a) una probeta cilíndrica conteniendo un termocople siendo la funda constituyente el captador;
- b) un horno eléctrico;
- c) una cubeta de aceites;

CLASIFICACION GENERAL DE ACEITES DE TEMPLE

TABLA 2

FAMILIAS		GRUPOS		SUB _ GRUPOS	
A	Aceites para empleo a temperaturas inferiores a 90°C	1	Aceites de temple corriente	a	Aceites ordinarios
				b	Aceites compuestos
		2	Aceites de temple "acelerado"	a	Aceites con aditivos
				b	Aceites con aditivos y compuestos
B	Aceites para empleo a temperaturas superiores a 90°C	3	Aceites de temple caliente	a	Aceites ordinarios inhibidos
				b	Aceites con aditivos

CARACTERISTICAS Físico - químicas	GRUPO 1		GRUPO 2		GRUPO 3	
	Aceite corriente		Aceite acelerado		Aceite de temple	
	a	b	a	b	a	b
Viscosidad a 50°C	< 6 °E (45 cSt)				> 6 °E (45 cSt)	
Punto de ignición (°C)	< 230				> 230	
Contenido de cenizas (%)	< 0,10		> 0,10		< 0,01	> 0,01
Residuo Conradson	< 0,05		> 0,10		> 0,10	
Indice de saponificación (mgKOH/g de aceite)	< 2	> 2	< 2	> 2	< 2	

CLASIFICACION DE UN ACEITE EN FUNCION DE SUS PROPIEDADES FISICO - QUIMICAS

TABLA 3

- d) un dispositivo asegurante lo transporta del captador del horno a la cubeta de aceite;
- e) una cadena de tratamiento y de registro de señal termoeléctrica.

4.- CONDICIONES DE ENSAYO

Las pruebas pueden ser realizadas por dos métodos:

- método A captador \emptyset 8 x 24 [mm];
- método B captador \emptyset 16 x 48 [mm].

Al respecto las condiciones definidas en la tabla 4.

5.- EXPRECION DE RESULTADOS

Los resultados de tres pruebas sucesivas obtenidas en los límites de fidelidad deben estar presentes.

- es decir a la ayuda de curvas medias;
- es decir a la ayuda de valores numéricos.

5.1 Curvas Medias

Dos tipos de curvas pueden ser determinadas (fig 1):

- curvas representativas de la evolución de la temperatura del centro del captador en función del tiempo, o sea $\theta_c = f(t)$.
- curva representativa de la evolución de la velocidad de enfriamiento central en el centro del captador en función de la temperatura en este punto. $(V_e)_c = Y(\theta_c)$

5.2 Valores Numéricos

Las características de drasticidad pueden ser definidas con la ayuda de dos temperaturas específicas (fig 2):

θ_1 temperatura de transición entre las fases de ebullición y de calefacción.

θ_2 temperatura convencional de transición entre las fases de ebullición y de convección.

El paso de la fase de ebullición a la fase de convección se obtiene dentro del dominio de la temperatura.

- método A la temperatura del punto de la curva $\theta_c = f(t)$, ambiente como abscisa t_g . Este último se obtiene añadiendo 1 seg al tiempo t , abscisa del punto de tangencia de la curva a la derecha del camino desde 800°C.

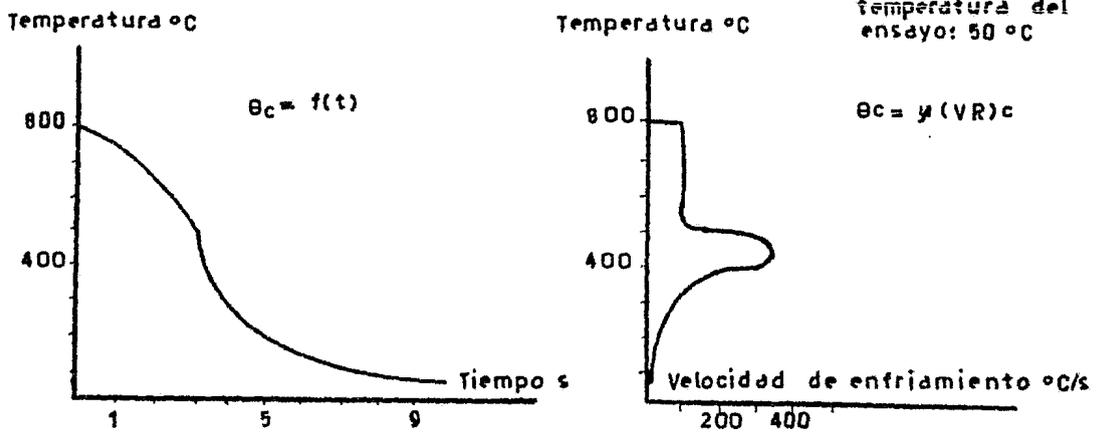


Fig.1_ Ejemplo de curvas de drasticidad de un aceite mineral puro con características parafínicas.

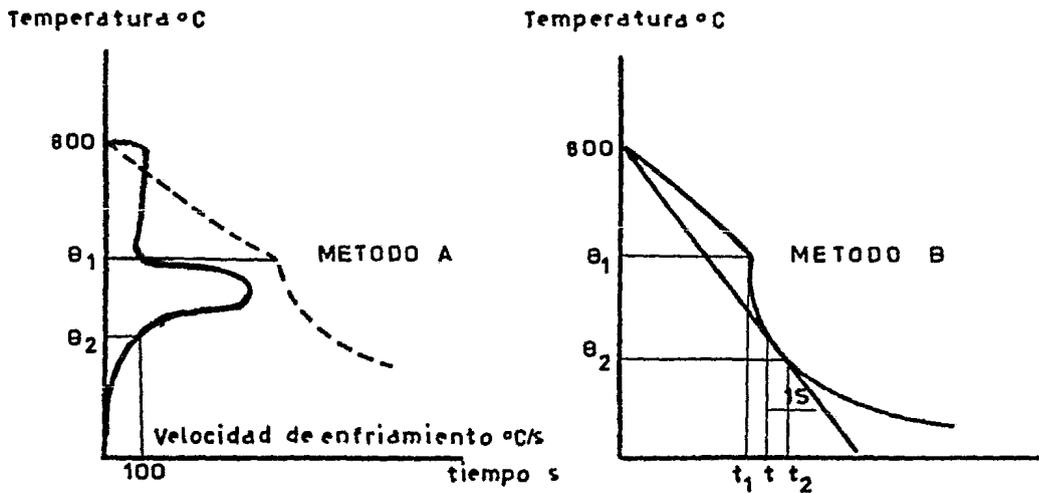


Fig.2_ Definición de temperatura característica

- metodo B a la temperatura del punto de la curva ambiente como abscisa 100°C/s .

Los resultados serán expresados por la media aritmética de los valores respectivos θ_1 y θ_2 .

6.- ADVERTENCIA

La presencia de dos métodos debido a su desarrollo simultaneo en diferentes laboratorios no aparece actualmente como una molestia en el marco del dialogo proveedor - utilizador, porque numerosos experimentos nos muestran la similitud de resultados en la aplicación de los mismos productos. Bien entendido, será necesario que posteriormente una elección sea efectuada dentro del marco de una recomendación definitiva.

ADQUISICIONES Y ORIENTACION EN EL DOMINIO DE LAS CARACTERISTICAS DE ACEITES DE TEMPLE

Las pruebas existentes, y en particular las pruebas de drasticidad ya por utilizarse en francia y propuestas en el marco internacional, nos permite:

- el estudio de nuevos productos y la simplificación de la gama de proveedores;
- el control de propiedades de productos por los utilizadores en la entrega sucesiva y el orden de sus propiedades en servicio;
- de manera más general una tentativa de clasificación de productos de comercio después sus propiedades.

Fuera de la definición de otras pruebas de laboratorio no normalizadas figuran en la tabla 4, la actividad dentro del dominio se orienta ahora hacia la previsión a partir de características de productos, de propiedades de instalaciones de temple. La redacción de modalidades de una prueba de caracterización global de poder templante de una instalación deberá permitir el buscar las tentativas de correlación drasticidad factor k de una instalación.

- las dificultades actuales de establecimiento de relaciones directas entre el poder enfriante de un aceite y su aptitud a templar dentro de una instalación dado una pieza de matices y de forma cualquiera debido en lo particular a los problemas de superficie ambiente estando más en evidencia por los problemas del equipo.

PROPIEDADES Y SOLUCIONES ACUOSAS DE PRODUCTOS ORGANICOS

Después de una veintena de años, una categoria de líquidos de temple constituidos por dos soluciones acuosas de productos organicos esta apareciendo.

CONDICIONES DEL ENSAYO DE PRUEBAS DE DRASTICIDAD

TABLA 4

Parámetro	Método A	Método B
1.- Temperatura del captador [a]	$800 \pm 5 \text{ } ^\circ\text{C}$	
2.- Probeta <ul style="list-style-type: none"> . naturaleza . título . diámetro . longitud 	plata 99,9999% $8 \pm 0,1 \text{ mm}$ $24 \pm 1,0 \text{ mm}$	$16 \pm 0,1 \text{ mm}$ $48 \pm 1,0 \text{ mm}$
3.- Cople termoeléctrico <ul style="list-style-type: none"> . tipo . naturaleza del cople 	N vaina níquel cromo níquel aleado	
4.- Enlace cople probeta	por engarce	contacto directo
5.- Cuba a muestra <ul style="list-style-type: none"> . capacidad nominal 	250 ml	800 ml
6.- Toma de la prueba <ul style="list-style-type: none"> . temperatura . agitación . volumen 	$50 \pm 5^\circ\text{C}$ para aceites de temple frío $150 \pm$ para aceites de temple caliente -0 nula -0 + 10 + 10 200 ml 700 ml	
7.- Altura del aceite por encima del captador	+3 27 mm -0	+3 27 mm -0
8.- Velocidad de descenso del captador	$5 \pm 1 \text{ m/mm}$	

[a] para los aceites donde la temperatura de fin de calentamiento es vecina a la superior de 800°C , el calentamiento del captador podría hacerse a temperatura más elevada (pero menor a 960°C).

Utilizados en el temple superficial y al parecer no conocidos en el temple masico el desarrollo que deja prejulgar las propiedades recordadas en la tabla 5, en particular:

- la no inflamabilidad contrariamente a los aceites;
- un poder de enfriamiento variable siguiendo el contenido en los productos activos, que cubre de manera continua un dominio que va aproximadamente de las de el agua a las del aceite de temple.

Recordando que estos productos son en general a base de polyallyléne glycol. Esta base es insoluble en el agua cuando la temperatura de ella sobrepasa 60° a 70°C entonses esta es perfectamente soluble para las temperaturas inferiores. Puesto que una pieza caliente este inmersa en una solución del producto, la base se deposita bajo un lecho viscoso sobre la superficie caliente de la pieza, ella esta, ahora aislada en un medio líquido y los cambios térmicos entre la pieza y el líquido no dan lugar a defectos, este lecho de polimeros más o menos denso siguiendo la concentración en base a la solución.

Dos efectos son comurmente relacionados con los procesos:

- disminución de cambios térmicos luego disminución del poder enfriante del agua fría.
- regularización de los cambios luego disminución de deformaciones.

La figura 3, muestra la idea de una prueba de drasticidad las variaciones del poder enfriante de soluciones acuosas de productos orgánicos en función de sus concentraciones.

DOMINIO DE APLICACION POTENCIAL DE SOLUCIONES ACUOSAS EN TEMPLE MASICO

Para definir el dominio de aplicación de los productos es necesario recordar que se deben distinguir dos dominios de empleo principal del temple masico.

El tratamiento de piezas para cuando ellas, o la obtención de un endurecimiento, se busca limitar al máximo la alteración de superficies y las grietas. En este caso las piezas, en un estado cercano del fin, siguiendo antes que temple un calentamiento dentro de un medio protector o un tratamiento termoquímico.

En este dominio las soluciones acuosas presentar dos obstáculos princi

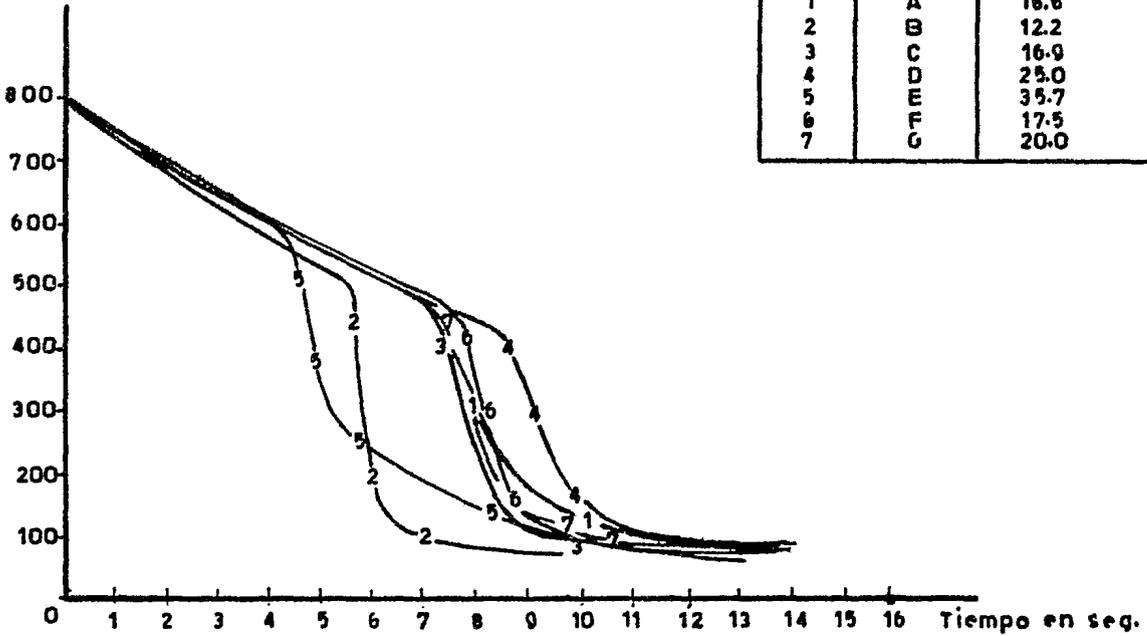
ELEMENTOS DE COMPARACION DE LOS PRINCIPALES MEDIOS DE
TEMPLE A BASE DE LIQUIDOS VAPORIZABLES.

TABLA

	Criterio	Agua	Soluciones acuosas de productos organicos	Aceites
Propiedad de empleo	Riesgo de incendio.	nulo	nulo	elevado
	Polución de los talleres.	nulo	nulo	elevado
	Depósitos sobre los talleres.	nulo	débil	elevado
	Riesgo de corrosión.	elevado	débil	débil
	Limpieza de las piezas.	nulo	simple	delicado
Propiedad del enfriamiento	Poder de enfriamiento.	elevado	ajustable	medio
	Posibilidad de adaptación del poder de enfriamiento a los requerimientos del que lo emplee.	débil	elevado	mediano
	Tendencia a deformar las piezas.	elevado	débila a mediano	débil

Figura 3a: Drasticidad a 40°C sin agitación captador de plata Ø 8 L24 mm.

Temperatura °C



Rep	Código	Tasa en producto %
1	A	18.8
2	B	12.2
3	C	16.9
4	D	25.0
5	E	35.7
6	F	17.5
7	G	20.0

Temperatura °C

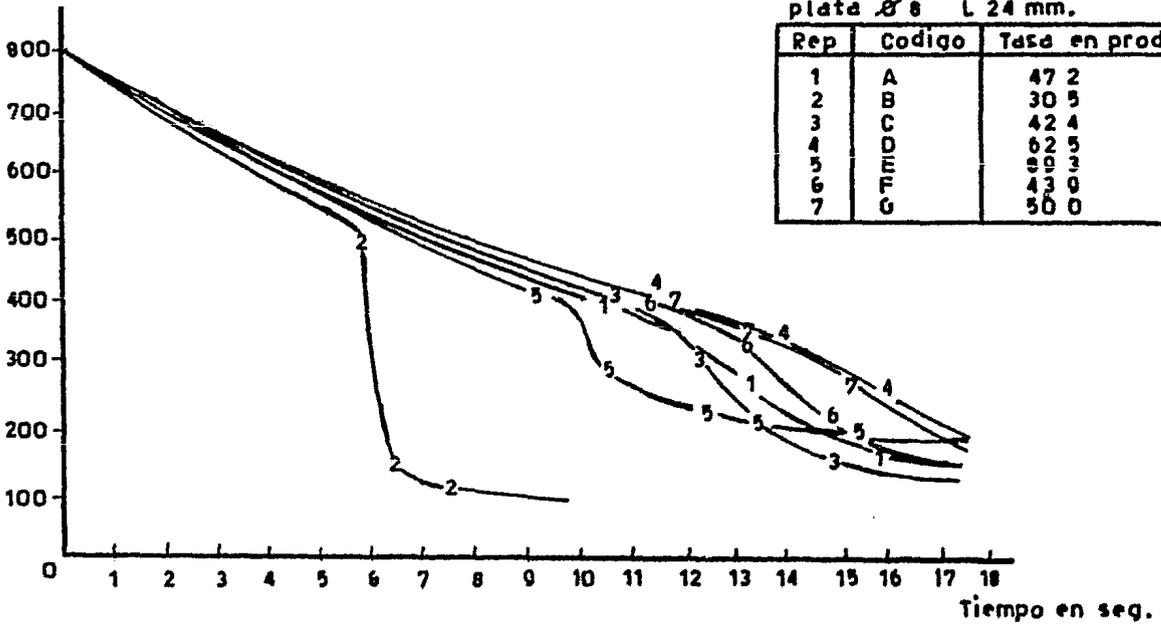


Figura 3b: Drasticidad a 40°C sin agitación captador de plata Ø 8 L 24 mm.

Rep	Código	Tasa en producto %
1	A	47.2
2	B	30.5
3	C	42.4
4	D	62.5
5	E	59.3
6	F	43.0
7	G	50.0

pales que limitan el empleo las cuales son las precauciones evaluadas desde su utilización.

- su no compatibilidad actual con el sol;
- la imposibilidad de su utilización en los hornos con cubeta de temple incorporada, cuenta con el riesgo de polución en la atmósfera del horno por vapor de agua.

El tratamiento de piezas para cuando ellas, además de un endurecimiento y la ausencia de grietas son buscadas, estas que corresponden a las piezas tratadas y a las piezas en bruto tratadas de forja y al estado de esboso. En este caso el calentamiento no es en general para realizarse bajo atmósfera. Las soluciones acuosas de productos orgánicos parecen bien adaptadas a este tipo de aplicación y podrían remplazar ventojosamente al agua y los aceites bajo reserva de que la instalación de temple y la continuidad de sus propiedades sean adaptadas a su utilización esto dirá que:

- La capacidad de la cubeta de temple sea suficiente o que esta última posea un intercambiador permitiendo el evitar una elevación de temperatura del baño más allá de 50°C a fin de evitar los riesgos de que se consuma el producto de base por arrastre sobre la pieza (no solubilidad);
- Un sistema de agitación previa para homogeneizar la temperatura y asegurar la aereación del baño;
- De los materiales compatibles con las características de la solución siendo estas previstas por las juntas y las pinturas;
- Que la solución se realice con agua de buena calidad;
- El ciclo de temple impone el movimiento de piezas hasta el enfriamiento completo a fin de evitar el arrastre de productos de base;
- La puesta en un sitio del medio de control del poder enfriante de la solución y la utilización frecuente de este control siendo este previsto;
- Una vigilancia de la evolución biológica del baño en particular durante las detenciones prolongadas (permitidas) que sean efectuadas.

CARACTERIZACION EN EL LABORATORIO DE LAS PROPIEDADES DE LAS SOLUCIONES ACUOSAS

1.- CARACTERIZACION DE PRODUCTOS EN ESTADO DE ENTREGA

Los experimentos realizados en siete productos del comercio nos muestra la necesidad de controlar el contenido en agua del producto. Todos los productos

del comercio contienen en efecto al estado de venta un contenido elevado (40 a 60 por ciento para los productos a base de polyalkylene glycol). Esta agua en efecto es necesaria en la obtención de un producto suficientemente fluido por ser condicionado en tonel. Este contenido en agua inicial que condicionado en dilución equivalente a las propiedades de la solución final no están indicadas sistemáticamente por el proveedor por lo que es necesario controlar.

Entre los diferentes métodos directos o indirectos; contenido en agua, masa volumétrica, refractometría, viscosidad, el primer método, aplicación de la NFT 60 113 siendo la más precisa.

Entre los controles de recepción, se puede citar la proporción en cenizas siguiente la NFM 07 - 045 que es significativa del contenido en aditivos no orgánicos del producto, el potencial de hidrógeno (el pH de las libras producidas varía entre 8 y 13) y la espectrografía infraroja que permite el controlar la naturaleza de la base y la presencia de aditivos.

2.- CARACTERIZACION DE PRODUCTOS EN SERVICIO

Esta caracterización es una de las clases de desarrollo de soluciones de productos orgánicos en temple masico. En efecto, el medio de temple puede ser, de manera mucho más rápida que por los aceites, las modificaciones importantes del poder de enfriamiento debidas a dos causas principales:

- Una variación del contenido en base (arrastré del producto por la pieza debido a una elevación de la temperatura del baño o a una salida demasiado rápida de la pieza);
- Una degradación en el tiempo de propiedades de la base orgánica.

Por la concentración elevada en producto de base (15%) la prueba de drásticidad precedente define la resolución del problema en un permanente control periódico del poder de enfriamiento de la solución. Desafortunadamente, por des - concentración más débil, la interpretación de esta prueba se contrasta a una mala respetabilidad imputable a dos fenómenos de inestabilidad intrínseca de la cama de polímeros rodeando la probeta. Si la multiplicación de pruebas permite el atenuar estas dificultades, el rendimiento imposible de correlación entre la curva media así obtenida y la evolución de riesgos de deformación.

En práctica, la prueba más empleada es el control por refractometría del contenido de agua en la solución, a partir de una curva contraste. Los dos inconvenientes de esta prueba simple son la sensibilidad a la polución del baño y su no significatividad paso a paso de la degradación del producto orgánico.

Entre las otras pruebas, la espectrometría infraroja parece difícil el

generalizar por los controles periódicos y las pruebas de control de características globales de instalaciones citadas en el párrafo relativo a los aceites, semejante mal, cuenta del hecho de que los riesgos de variación rápida de propiedades de enfriamiento de estas soluciones acuosas conducen a un costo de control demasiado importante.

Las advertencias en la sensibilidad de ciertos de los controles a la evaluación de las propiedades de empleo de un baño industrial son resumidos en la tabla 4.

ORIENTACION EN EL DOMINIO DE LAS CARACTERISTICAS DE SOLUCIONES ORGANICAS

El no conocer parece posible actualmente, cuenta sostenida de búsqueda de nuevos productos rastreados por diversos laboratorios, etc. poner en común los conocimientos por intentar el dominio un esfuerzo equivalente al realizado en el plan nacional para la caracterización de aceites de temple.

Para permitir el aumentar la utilización industrial de estos productos a las propiedades potenciales interesantes, el proposito sin embargo indispensable que sean definidos los métodos simples permitiendo el controlar las propiedades de empleo de los productos. A nuestro parecer, hacia el objetivo de mejoramiento de la estabilidad de la cama viscosa y de la resistencia del producto a la degradación térmica, que desvian las búsquedas actuales de los fabricantes de estos productos (compuestos orgánicos).



CARACTERISTICAS

FISICO-QUIMICAS

DE ACEITES DE

TEMPLE



1. _ OBJETO Y DOMINIO DE APLICACION

La presente recomendación proporciona la lista de características físico - químicas que permite definir las propiedades de un aceite de temple nuevo o seguir la evolución de un aceite de temple en servicio.

La misma fija igualmente los métodos de prueba y da informaciones prácticas esencialmente necesarias para utilización e interpretación correcta de estas características.

2.- CARACTERISTICAS FISICO - QUIMICAS Y METODOS DE PRUEBA DE ACEITES DE TEMPLE

REGLAS DE DEDUCCION DE UNA MUESTRA DE ACEITE

Los resultados del control de un aceite de temple nos da el valor que da la medida de la muestra analizada, esta es representativa del baño y de lo que de esta resulta.

La operación de deducción de una muestra de aceite representativa del baño no es tan simple a primera vista, habría que referirse a la norma NF M 07 - 001 "Método de muestreo de productos petroleros".

Tres reglas esenciales deben ser escrupulosamente observadas para la toma de la muestra:

- 1) la muestra debe ser representativa según el caso de todo o parte del baño de aceite:*
- 2) cuando el baño de aceite de temple es hecho al abjeto dentro de un tiempo continuo, las muestras sucesivas deben estar deducidas en las mismas condiciones:*
- 3) el recipiente utilizado por la muestra debe ser propio, seco y de volumen suficiente. Además de esto, debe ser hecha la identidad completa de la muestra y las condiciones de la toma (datos, hora, posición, agitación probable del baño...)*

METODOS DE PRUEBA DE ACITES DE TEMPLE

La tabla 1 posee la lista de pruebas físico - químicas aplicables al control de aceites de temple.

Los métodos de prueba concernientes y la resistencia a la oxidación o a la degradación térmica serán definidas posteriormente.

3.- RELACION ENTRE CARACTERISTICAS FISICO - QUIMICAS Y PROPIEDADES DE EMPLEO

Características	Método de prueba	Expresión	Unidad
Aspecto	Exámen visual	Descripción	-----
Color	NFT 60 - 104	Numérica	Adimen
Drasticidad	Recomendación ATTT/SFM N°2	Gráfica Numérica	°C
Índice de viscosidad	NFT 60 - 136	Numérica	Adimen
Lavabilidad	Método no definido	-----	-----
Masa volumétrica	NFT 60 - 101	Numérica	Kg/m ³
Punto de ignición vaso abierto	NFT 60 - 118	Numérica	°C
Residuo Conradson	NFT 60 - 116	Numérica	%
Resistencia a la oxida- ción o a la degradación térmica	Método no definido	-----	-----
Espectro infrarojo	-----	Gráfica	-----
Contenido en asfaltos	NFT 60 - 115	Numérica	%
Contenido en cenizas y Cenizas sulfatadas	NFM 07 - 045 NFT 60 - 143	Numérica Numérica	% %
Contenido en agua	Método Karl Fisher NFT 60 - 113	Numérica	%
Contenido en azufre	NFT 60 - 108	Numérica	%
Viscosidad cinemática (a 40° y a 100°C)	NFT 60 - 100	Gráfica ASTM D 341 NFT 60 148	mm ² /s
Volatilidad (por desti- lación atmosférica)	NFM 07 - 002	Gráfica	-----
Índice de acidez	Método colorimétri- co NFT 60 - 112	Numérico	mgKOH/g
o T.A.N. (Número total de acidez)	Método potenciomé- trico ASTM D 664	Numérico	mgKOH/g
Índice de saponifica -- ción	NFT 60 - 110	Numérica	mgKOH/g

TABLA 1 METODOS DE PRUEBAS DE ACEITES DE TEMPLE

CARACTERÍSTICAS DE ACEITES NUEVOS

Estas son comunicadas por los proveedores; ellas permiten definir sea un producto (fichas técnicas), sea una entrega.

Las características de los aceites nuevos permiten al que los utiliza:

- el escoger la cualidad del aceite y su mejor adaptación a una aplicación en particular:
- de disponer de valores de referencia para el control y la conformidad de aprovisionamiento y para el orden de aceites en servicio.

CARACTERÍSTICAS DE ACEITES EN SERVICIO

Estas son determinadas en los aceites después que se entregan. La interpretación de resultados de las pruebas se hace por comparación con las características anunciadas por el proveedor (ficha técnica) o con las medidas del aceite nuevo.

SIGNIFICADO E INTERPRETACION DE RESULTADOS DE PRUEBAS FISICO - QUIMICAS

La información contenida en la tabla 2, nos sirve como guía para la utilización en la interpretación de resultados de pruebas de que se disponga.

Estos datos, presentados de forma concisa no son de ninguna forma exclusivos, estos no son substitutos por consiguiente es indispensable el diálogo entre proveedor y el que emplea el aceite de temple.

4.- PRUEBAS DE ACEITE DE TEMPLE EN FUNCION DE SU EDAD

El interés práctico de las características puede poseer muchas variables de un aceite a otro en función:

- el tipo de aceite considerado:
- la edad de este aceite (nuevo o en servicio).

En consecuencia, las características a conocer de las pruebas a realizar deben ser seleccionadas caso por caso para no sobrecargar inutilmente el costo del producto en apreciaciones de control.

La tabla 3, permite apreciar el interés de cada prueba en los principales casos encontrados en la práctica.

Características o pruebas	SIGNIFICADO E INTERPRETACION		observaciones
	Control de aceites nuevos	Control de aceites en servicio	
Aspecto	<ul style="list-style-type: none"> Control de la nitidez Detección de una polución por el agua lubricante 	<ul style="list-style-type: none"> Detección de partículas en suspensión (calamina y hollín) Detección de polución por agua 	
Color	<ul style="list-style-type: none"> Conservación segura de abastecimiento Identificación rápida de un aceite dado en los casos 	<ul style="list-style-type: none"> Apreciación general del estado de oxidación y de polución; el aceite se oscurece bajo los efectos de oxidación y de polución 	
Densidad	<ul style="list-style-type: none"> Determinación del poder enfriante 	<ul style="list-style-type: none"> Control de la evolución del poder enfriante, detección de poluciones 	
Índice de acidez o TAN	<ul style="list-style-type: none"> Valor de referencia Dentro de ciertos casos revela la presencia de aditivos 	<ul style="list-style-type: none"> Un aumento traduce un envejecimiento por formación de compuestos oxidados Una graduación indica la evolución del índice de acidez en servicio después de cierta utilización 	<ul style="list-style-type: none"> El método NEF 60-112 no puede ser usado en el caso de aceites oscuros usar el método ASTM O 664
Índice de saponificación	<ul style="list-style-type: none"> Detección de la presencia de cuerpos grasos Más allá de 2 a 3 mg KOH/g 	<ul style="list-style-type: none"> Siguiendo la evolución del aceite 	<ul style="list-style-type: none"> La medida puede ser falsa por la presencia de aditivos
Índice de viscosidad	<ul style="list-style-type: none"> Permite calcular la viscosidad a toda temperatura a partir de 40°C y 100°C Estimación de la estructura de carbono del aceite, índice de debilidad, características parafénicas, índice de viscosidad elevado 		<ul style="list-style-type: none"> Utilización de tablas especiales
Lavabilidad	<ul style="list-style-type: none"> Fácil eliminación del aceite sobre la pieza por arrastre dentro del agua 	<ul style="list-style-type: none"> Evolución en servicio 	

Punto de ignición	<ul style="list-style-type: none"> • Criterio de seguridad para el almacenamiento y utilización de productos: indicación de la temperatura máxima de utilización (menor en 50 °C a la temperatura de ignición) • Indicación burda de la volatilidad del aceite 	<ul style="list-style-type: none"> • Control de la evolución del aceite - un aumento del punto de ignición es un índice de la oxidación del aceite; - una baja traduce una polución para un líquido volátil (gas, aceite) o un estampido 	<ul style="list-style-type: none"> • El método CLEVELAND es el más utilizado • La determinación del punto de ignición en vaso cerrado es ligeramente más severa
Residuo de Conradson	<ul style="list-style-type: none"> • Tendencia del aceite a generar depósitos • Detección de aditivos 	<ul style="list-style-type: none"> • De poco interés 	
Resistencia a la oxidación	<ul style="list-style-type: none"> • Importancia notable para aceites de temple calientes y de renta 	<ul style="list-style-type: none"> • Poco más o menos de interés 	
Espectro infrarrojo	<ul style="list-style-type: none"> • Estimación de la estructura de carbono y detección de aditivos 	<ul style="list-style-type: none"> • Control de la evolución del aceite evidencia de los productos de oxidación 	
Contenido en asfaltos	<ul style="list-style-type: none"> • Valor de referencia 	<ul style="list-style-type: none"> • Riesgo de polución en la superficie 	
Contenido en cenizas	<ul style="list-style-type: none"> • Criterio de calidad del aceite • Detección de aditivos en la ceniza 	<ul style="list-style-type: none"> • Detección de óxidos metálicos • Control del contenido de aditivos 	
Control de agua	<ul style="list-style-type: none"> • Indicaciones de una polución eventual (cuba de almacenamiento, transporte) 	<ul style="list-style-type: none"> • Criterio de seguridad: no se admite que el aceite contenga más del 0.05 % de agua 	<ul style="list-style-type: none"> • NF 60 - 11³ umbral de detección 0.1% • Método Karl Fisher
Control de azufre	<ul style="list-style-type: none"> • Control de azufre en el aceite base • Control de aprovisionamiento 		<ul style="list-style-type: none"> • Salvo casos particulares no siempre es de interés
Volatilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Criterio económico y tecnológico (parte del aceite por evaporación, enmuesamiento de hornos) • Criterio económico: parte del aceite por evaporación a la temperatura de utilización 	<ul style="list-style-type: none"> • Puesto en evidencia el estallido y la oxidación del aceite • Control de la evolución del aceite: indicación de polución en los líquidos 	<ul style="list-style-type: none"> • Esta característica puede ser apreciable a partir de la curva de destilación • Diagrama ASTM

Tabla 2 (continua)

CODIGO	características de aceites nuevos	características de aceites en servicio
prueba muy útil	■	■
prueba a veces útil	□	□

tipos de aceites característica de la prueba	Aceite de temple frio					Aceite de temple caliente	
	aceite mineral ordinario	aceite mineral compuesto	aceite mineral con aditivo	aceite mineral lavable	aceite mineral en vacio	aceite mineral inhibido	aceite mineral con aditivo
Aspecto	□ ■	□ ■	□ ■	□ ■	□ ■	□ ■	□ ■
Color	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □
Drasticidad	■ ■	■ ■	■ ■	■ ■	■ ■	■ ■	■ ■
Indice de acides	■ ■	■ ■	■ ■	■ ■	■ ■	■ ■	■ ■
Indice de viscosidad	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □
Lavabilidad				■ ■			
Masa volumetrica	■ □	■ □	■ □	■ □	■ □	■ □	■ □
Punto de ignicion	■ ■	■ ■	■ ■	■ ■	■ ■	■ ■	■ ■
Residuo Con radson			■ ■				
Espectro infrarojo	□ ■	□ ■	□ ■	□ ■	□ ■	□ ■	□ ■
Contenido en asfaltos	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □
Contenido en cenizas	■ □	■ □		■ □	■ □	■ □	
Contenido en cenizas sulfatadas			■ ■	■ ■			
Contenido en agua	□ ■	□ ■	□ ■	■ ■	□ ■	□ ■	□ ■
Contenido en azufre	□	□	□	□	□	□	□
Viscosidad cinemática	■ ■	■ ■	■ ■	■ ■	■ ■	■ ■	■ ■
Resistencia a la oxidacion y a la degradacion termica	□	□	□	□		■	■
Volatilidad atmosferica	■	■	■	■	■	■	■

**PROPOSICION DE UNA ESCALA
PRACTICA PARA LA EVALUACION
DEL PODER DE ENFRIAMIENTO
DE MEDIOS DE TEMPLE EN LOS
TRATAMIENTOS TERMICOS DE
LOS METALES**

La falta de atraer la atención del lector en el hecho de que existe una cierta tendencia a confundir las escalas de medición del poder de enfriamiento de medios de temple y los aparatos para la medida del poder del mismo.

Por razones de claridad, que podrían parecer excesivas, se procesará por analogías. Nombre el ejemplo de temperaturas, que es esencial para nuestra profesión. Falta distinguir dos aspectos diferentes:

- 1) los aparatos para la detección de temperaturas;
- 2) las escalas de valores, que constituyen el lenguaje común al que se refieren.

Nosotros podemos, concerniente al aspecto práctico de los aparatos, clasificar los grupos de la siguiente manera:

- a) dilatación simple (sólidos, líquidos y gas);
- b) dilatación del termoelemento;
- c) eléctrica: o termocople o resistencia;
- d) según la luminosidad: a dispersión, a absorción;
- e) otras (por ejemplo, los conos de Seger).

Por lo que concierne a las escalas, después de la establecida por Réaumur, hoy totalmente abandonada, en el dominio de la industria y la misma de la industria en donde se utilizan normalmente dos: Celsius y Fahrenheit.

En el laboratorio, además de estas dos escalas, se utiliza la escala termodinámica (o absoluta) de Lord Kelvin.

Se refiere, para indicar una temperatura, a los terminos "calor, frío, candente, templado" no tienen ningún sentido. Este valor numérico que cuenta según una escala numérica bien precisa.

Cuando la evolución del poder de enfriamiento de medios de temple, no dispone de una cierta variedad de aparatos de detección, más para las escalas de medición.

El blanco de este estudio es el de establecer un método práctico, que pueda servir, al mismo tiempo, a las necesidades de la industria y de la industria o de control en el laboratorio.

La falta de disponer de un punto de partida y de otros puntos de fijación para establecer las escalas de medida.

Como lo hicieron Réaumur y Celsius, que eligieron la congelación a cero y el punto de ebullición del agua y fijaron los valores respectivamente a 80°R y 100°R, y Fahrenheit con una mezcla de sal y de hielo a 0, la fusión del hielo está fijada a 32°F y la temperatura de ebullición del agua a 212°F, y Lord Kelvin con su escala termodinámica, partiendo del cero absoluto, que ocupa el nivel de la industria en donde se utilizan normalmente, se fijó el punto de

mo se afirmo, de servir lo mismo a la práctica industrial que al laboratorio.

A este punto, se estima conveniente el hacer otras consideraciones sobre la materia.

Avant Jominy, de nombre, decidio el realizar con materiales y establecer fórmulas para obtener datos técnicos en la templabilidad de los aceros. Más el método Jominy escogido sobre todo por su simplicidad, por su carácter práctico, que a permitido elaborar las bandas Jominy para la clasificación de aceros, sobre la base de la profundidad de endurecimiento (templabilidad).

Del mismo, el método para la medida de dureza Rockwell se está afirmando a causa de su simplicidad extrema y de la rapidez de determinación. La escala C, sobre todo, es aceptada comunmente, a un punto tal que frecuentemente no se le añade más la letra C: cuando se dice Rockwell 63, se sobreentiende medida de dureza, según Rockwell letra C.

Se podría hacer una consideración análoga para la medida práctica de viscosidad, según la escala Engler.

Y manteniendo ensayos el dar una breve ojeada de lo que existe en este momento.

El director de Heat & Mass Flow Analyzers Laboratory de la Universidad de Columbia (EUA), V. Paschkis, en octubre de 1958, presento al National Metal Congress de la American Society for Metals, en Cleveland, una larga exposición del problema.

La A.S.M. Committee on Quenching and Martempering, en el libro Quenching and Martempering (1954 Metals Park - Ohio U.S.A.), enumeró los métodos siguientes 1º) Cooling curve test: método satisfactorio desde el punto de vista científico, más complicado y no adaptable a la práctica industrial. Este esta basado en el cálculo de transmisión de calor, según ciertas fórmulas, y consiste de introducir un termocople al interior de una masa metálica.

2º) Interval test - o "prueba de cinco segundos" en medición la argumentación de temperatura del líquido de enfriamiento, se suministra una barra de 250 g calentada a 1500 °F (815 °C) colgando cinco segundos.

3º) El "Hot wire test" consiste en calentar un hilo de níquel-cromo con la ayuda de una corriente eléctrica, regla para variar y prolongar en una pequeña cantidad de aceite (200 ml). O medir por el medio la capacidad de extracción de calor.

4º) La "Magnetic test" calentamiento de una bola de níquel de 7/8" de diámetro de un peso de 50 g aproximadamente, justo a la temperatura de 1625 °F (885 °C) y sumergida en un recipiente de 200 ml conteniendo la calidad del aceite a probar, y cronometrando el intervalo de tiempo entre la inmersión y el momento en que el níquel pasa debajo del punto de Curie (1070 °F o 577 °C) es el que se vuelve paramagnético.

5º) El "Thermocouple method" este método consiste en calentar un cuerpo de forma geométrica bien definido, conteniendo en el interior la junta caliente de un termocople. O calentando el cuerpo detector a una temperatura estable y en la prolongación de una curva conteniendo el líquido a probar. O mediante el intervalo de tiempo - temperatura, que es la ventaja de realizar así la curva de enfriamiento, entre ciertos intervalos de temperatura.

El método del termocople se está probando como el más simple y el más seguro para reportar a los otros descritos más arriba. De numerosas realizaciones prácticas efectuadas este verano. He aquí algunas.

De un modelo muy simple el termómetro Houghton (fig 1).

En el Simposium de Verna (Bulgaria), en mayo de 1969 R osenthal & Corp, de I.C.T.M.C., Bucarest, presentó un aparato basado en el mismo principio pero más sofisticado (fig 2).

Todo esto está bien más le falta, hasta mantenimiento, las unidades de medición pueden ser aceptables solo para la tecnología (prescripción a la fábrica de ejecución), son en lo relacionado con los proveedores (cuadernos de cargas establecen la calidad de la mercancía que se proponen recibir, por lo que concierne al poder de enfriamiento del líquido), solo para determinar las variaciones del poder de enfriamiento debido a:

- a la temperatura del medio;
- a su circulación;
- a su envejecimiento (deterioro).

El punto de partida a este es el diagrama T.T.T. de transformación isotérmica de un acero no aliado, eutectoide, establecida por Bain en 1931 (fig 3).

Se debe poner cuidado a tres puntos cruciales de endurecimiento de temple, el grado de drasticidad interesante sobre todo en esta operación:

1º) La temperatura inmediata superior a A_c en un acero eutectoide no aliado, este lleva la temperatura a la que la austenita está seguramente estable (referirse al diagrama de Bain).

2º) La abscisa la más corta corresponde a la raíz de transformación de la austenita inestable en perlita (Vet).

3º) La línea inmediatamente arriba del comienzo de la transformación de austenita inestable en martensita (Me).

Por razones prácticas y en los redondeos, se proponen los valores siguientes:

- 800 °C para el punto 1;
- 600 °C para el punto 2;
- 500 °C para el punto 3.

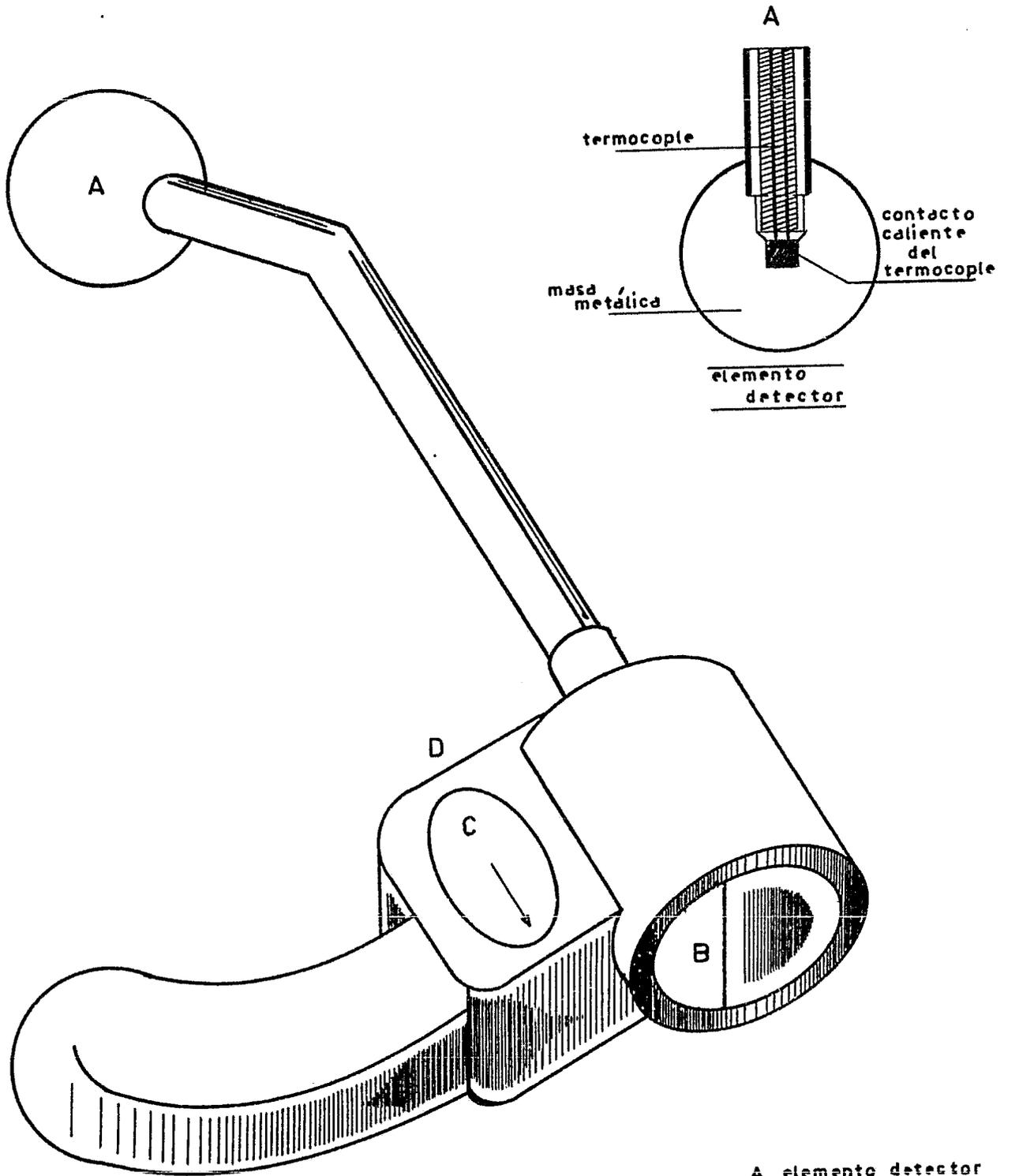


FIG.1- Tempermetro. a la derecha una sección del elemento captador; a la izquierda tempermetro Houghton.

- A_ elemento detector
- B_ detector pirométrico o termocople
- C_ cronómetro
- D_ botón de maniobra (no se aprecia).

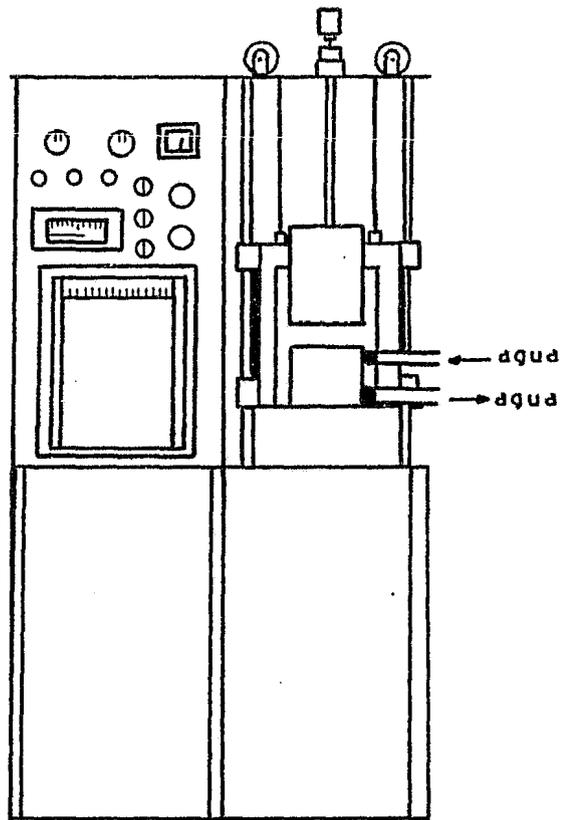


Fig.2 - Aparato para la determinación del grado de severidad de temple: cofre de tratamiento, señal y poste de prueba.

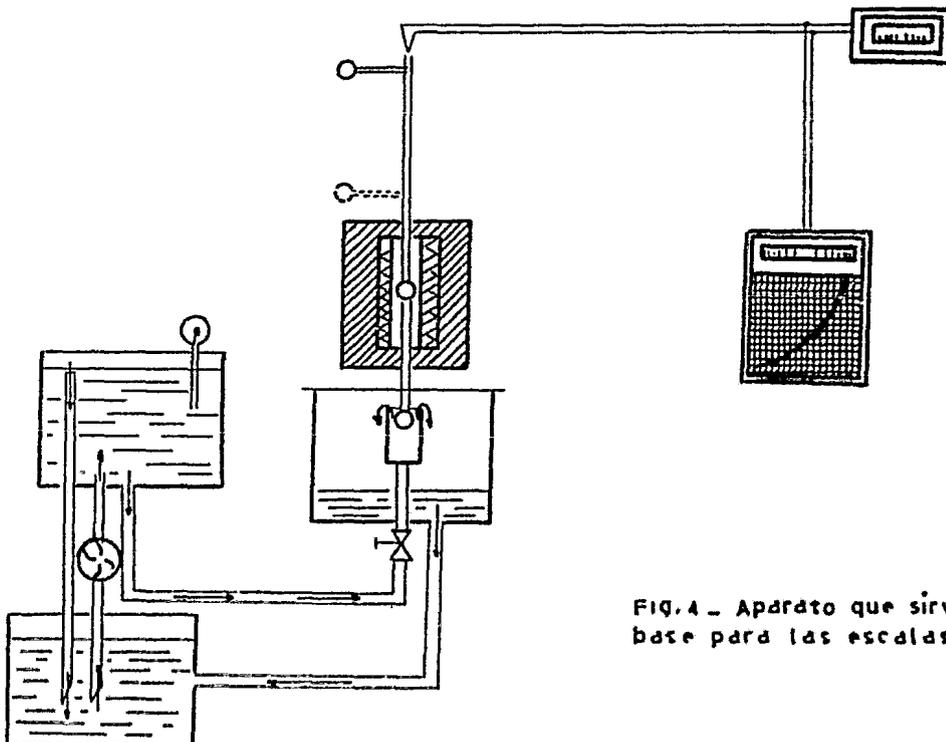


Fig.4 - Aparato que sirve de base para las escalas A y B.

Estos son los tres puntos de base de este método por establecer las escalas de medida.

Este es un método abierto, este no es limitativo, en analogía al método Rockwell para las medidas de dureza, dentro de aquella y a 15 escalas de medidas oficiales para la dureza normal y todavía seis para la dureza superficial, se sirve de penetradores de una geometría diferente y de un material diferente.

Estaba dado que la deformación necesitaba de una "base" y se estableció con el aparato representado en la (fig 4).

Una masa metálica constituye la extremidad del captador; como ella no debe pasar teniendo el punto de transformación, se ensayo sucesivamente como material la plata, el níquel, el níquel cromo, el acero 18/8 estable, el acero 18/8 al cromo.

Misma la forma geométrica puede variar y pasar de cilindro a bordos redondeados o a la esfera. Siendo este el mismo por las dimensiones del captador.

Através de minuciosas experiencias, se fija la elección en la esfera de un diámetro de 25 mm, en níquel puro, como representa la figura 6. En su centro la soldadura caliente de un termocople termocoaxial de un diámetro de 3 mm, en Ni NiCr unida por una soldadura de cobre, así, la conductividad térmica entre masa metálica y el punto caliente esta asegurada.

Se encontro que el captador responde bien a las necesidades, tanto para la reproducción absoluta de resultados que por la falta de una respuesta ni demasiado rápida.

El método no es un paso limitativo. El puede y tiene numerosas escalas correspondiendo así a los elementos detectores, que se permite de la repetición, de material, de forma geométrica y de masa diferente.

ESTABLECIMIENTO DE LA BASE DE LA ESCALA

Se va a recurrir al aparato de la figura 4.

En un horno eléctrico cilíndrico vertical, con un reglaje automático de la temperatura, esta caliente el elemento detector a un valor de 800 °C.

El elemento detector es rápidamente prolongado dentro de un vaso situado por debajo, a las dimensiones indicadas en la misma figura. Antes de la inmersión, el grifo estará abierto.

El elemento enfriado se el agua destilada, a una temperatura de 20°C. la eventual corrección con aportado por la ayuda de un termoprolongador.

La diferencia de niveles esta rigurosamente marcada a 100 mm. Por que no se emplea en este paso agua calmada? simplemente por reducir, sino para eliminar a toda costa, la fase de calentamiento.

Los resultados de cien determinaciones, utilizan el mismo captador, y demuestran que las condiciones son perfectamente reproducibles.

Se vale medir, para establecer la base de la escala A, el tiempo que tarde la temperatura en el centro de la esfera para pasar de 800°C a 250°C. El tiempo determinado, según la apariencia, es en promedio de 18 centésimas de minuto.

En realización de numerosos experimentos prácticos con los medios de enfriamiento de naturaleza diferente, (se tiene la idea que ésta determinación podría ocultar trampas).

Ensayos de reproducción para el estudio, las líneas esenciales del diagrama de Bain (fig. 3) Se obtiene el diagrama simplificado (fig. 7)

Vet representa la abscisa la más larga, donde el tiempo máximo concierne a la curva de enfriamiento por no pasar teniendo formación de perlitas.

Nombremos tres fluidos, de un poder de enfriamiento diferente, X - Y - Z: Con el fluido X nosotros restringimos en el dominio consentido; con el fluido Y nosotros nos encontramos en el límite; más con el fluido Z nosotros hallamos a la intersección de "nariz" de formación de la perlita en 1_1 justo a 1_2 (ver fig. 2)

Con el método propuesto, se podrá determinar para los valores numéricos el poder de enfriamiento del medio a escoger.

Pero se ve más alta la eventualidad de trampas con esta determinación.

Las curvas que representan a la fig. 8 son de las curvas armónicas.

Ciertos medios de temple pueden ofrecer los valores iguales para el intervalo de temperatura 800-250°C más presentar un aspecto intermedio diferente.

Se pudo detener en utilización dos líquidos diferentes generando las mismas temperaturas entre 800 y 250°C, las curvas de la fig. 9.

Mientras que con el medio de enfriamiento V se restaría en la zona de seguridad porque éste concierne a Vet, por contra con el medio W se determina una zona (indicado por una flecha) que deja atrás Vet, en general dan lugar a la formación de perlita (PS). Más, por no pasar a tener formaciones irregulares (troostita), falta que: $T_{\frac{1}{2}} \leq Vet$, como se probara con el medio V, mientras que por el medio de enfriamiento W, se augura $T_{\frac{1}{2}} > Vet$. Es por eso que se decidió el crear una segunda escala, pudiendo medir el tiempo de enfriamiento entre 800-250°C (Vet). Para el intervalo de temperatura 800-250°C, se habrá una escala denominada A; para el intervalo 250-200°C, se habrá una escala denominada B.

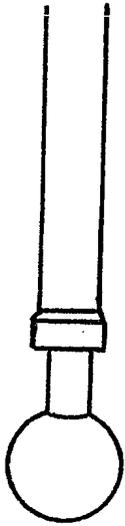


Fig.6_ Elemento detector (captador) seleccionado para la base de escalas A y B.

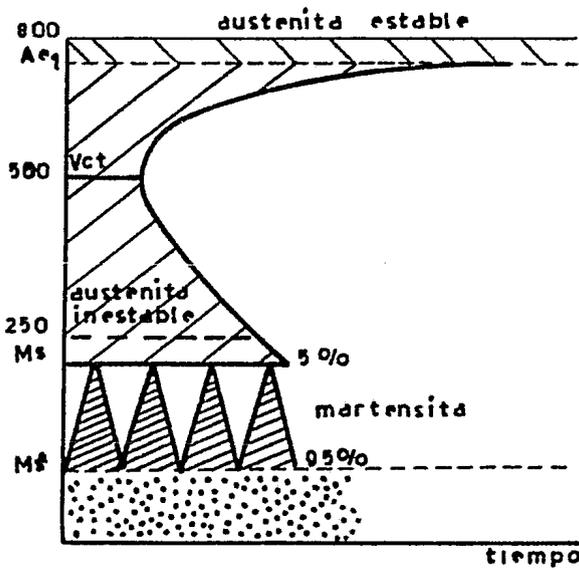


Fig.7_ Diagrama de Bain simplificado.

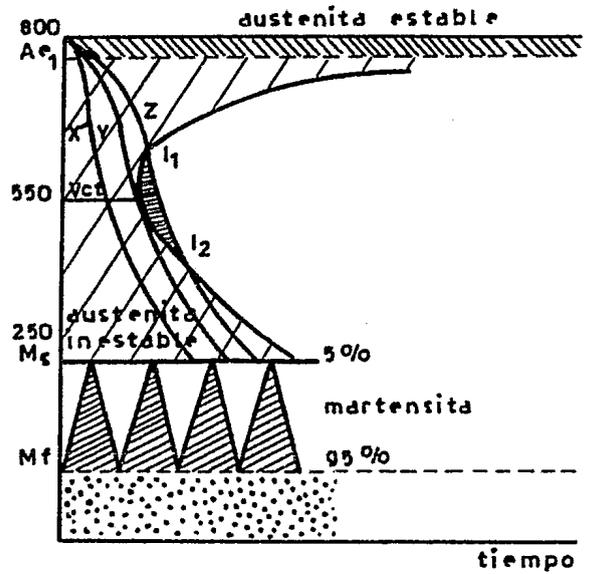


Fig.8_ Diferentes curvas de entriamiento

El tiempo de base determinado con el aparato representado en la fig. 4 con el agua es de 9 centésimas de minuto para la escala B y la reproducibilidad a este control por la centena de pruebas.

PRACTICA DE LA MEDIDA

En un horno cilíndrico vertical (1), regla automáticamente por el armario de mando (2), en calentamiento justo a la temperatura de 800°C (e. el corazón) el elemento detector (3) por debajo esta puesto un vaso (4) a las dimensiones indicadas en la fig. 4 conteniendo el líquido a probar; esto cuando es cuestión de un líquido calmado.

Cuando se desean medir las variaciones del poder de enfriamiento del mismo líquido, más en movimiento, a una cierta velocidad de circulación en un recurso del aparato representado en la fig. 11

En un horno (1), regla automática con el armario de mando (2) en calentamiento el elemento detector (3), más, a la diferencia del aparato ilustrado en la fig. 11, el medio a probar se halla en la base, el líquido puede estar en movimiento por la bomba (5).

La velocidad del líquido esta regulada por el grifo (6) y medido por el despachador.

Es superfluo el añadir que el aparato ilustrado en la fig. 11 pueda ser utilizado también con un líquido en estado de reposo que con un líquido en circulación. En el estado de reposo, es suficiente cerrar el grifo, en el estado de circulación, se abrirá el grifo (6) según la velocidad de circulación que se proponga utilizar.

Por razones prácticas, se ajusta una tercera escala: la escala C, No es más que una combinación de las escalas A y B.

Nosotros hemos visto que el tiempo de base para la escala A es de 18 centésimas de minuto, para la escala B, es de 9 centésimas de minuto.

Se utiliza el símbolo (inicial de "severidad") S, D (inicial de DORIGO, del método Dorigo), A (escala A), TA (temperatura determinada por el líquido a probar en la escala B, entre 800 y 550°C), se obtienen las formulas siguientes:

$$S_{DA} = \frac{18 \times 100}{TA}$$

$$S_{DB} = \frac{9 \times 100}{TE}$$

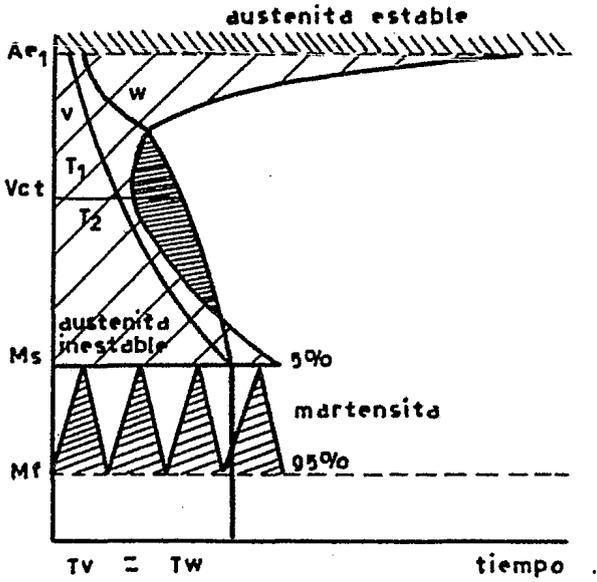


Fig.9 - Curvas de enfriamiento dando el mismo tiempo entre 800 y 250°C, pero con ambiente de aspecto diferente.

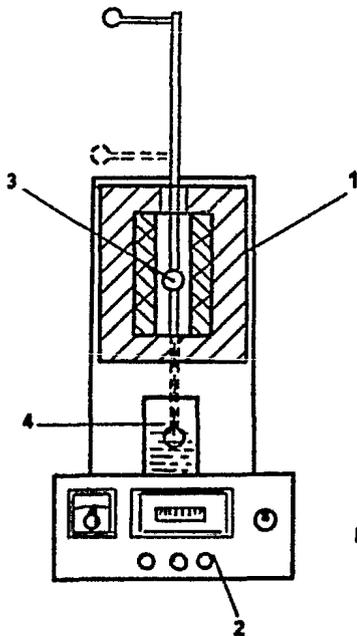


Figura. 10

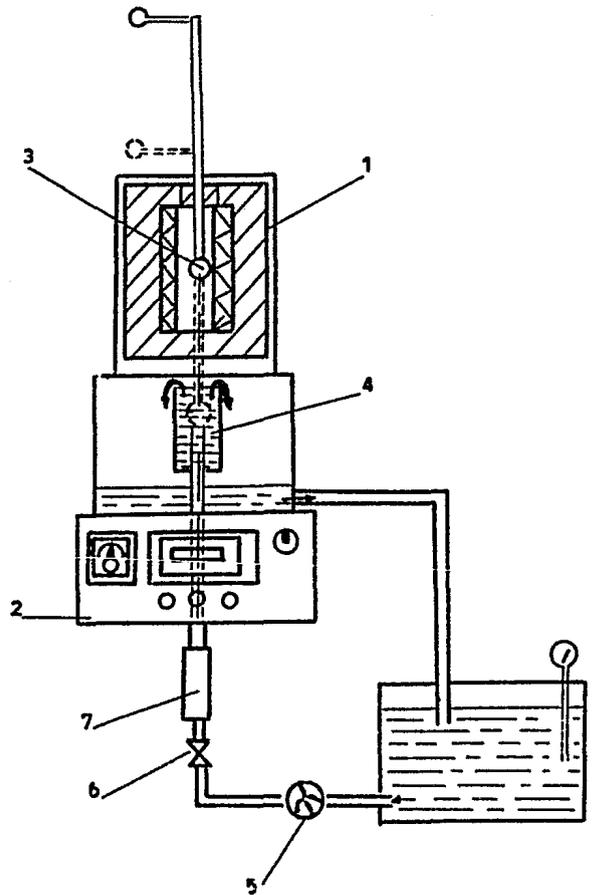


Figura. 11

Proponemos un ejemplo:

Se a encontrado para un cierto medio de enfriamiento, según la escala A el tiempo de 38 centésimas de minuto; según la escala B, el tiempo de 21 centésimas de minuto, he ahí los resultados:

$$^{\circ} SDA = \frac{18 \times 100}{38} = 47.36 \text{ (redondeando a 47)}$$

$$^{\circ} SDB = \frac{9 \times 100}{21} = 42.85 \text{ (redondeando a 43)}$$

$$^{\circ} SDC = 47/43$$

La utilidad práctica de la escala C es rápido explicarla.

Regresando a la fig. 9

Los dos fluidos de temple V y W toman el mismo tiempo entre 800 y 250°C más los tiempos diferentes entre 800 y 500°C. Con la escala C, podemos poner en evidencia esta diferencia, extremadamente importante del punto de vista metalurgico.

Para el fluido V: SDC= 47/43

Para el fluido W: SDC= 47/28

Se debe insistir en el hecho que el método propuesto aqui no es un paso limitativo.

Se pueden utilizar los detectores de forma geométrica, de material y de masa diferentes, y ajustar las escalas tanto que no se vean.

Luego, la objeción de la utilización de un captador cilindrico o esférico o de otras formas y dimensiones, de un material antes que otro, no hay ningún fundamento, de otras escalas pudiendose realizar exagerando las escalas A, B y C, hasta el agotamiento del alfabeto latino, griego o cirílico. Lo importante es la base del método: detectores y escalas.

Recapitulación de las principales características del método Dorigo para la evaluación por un valor numérico del poder de enfriamiento (drasticidad-severidad en lenguaje anglosajón) de medios de temple con tratamiento térmicos.

1º) El método consiste en determinar el poder de enfriamiento de una masa metálica bien definida, tanto en este que concierne su forma geométrica que la calidad del material, habiendo en su centro un cople termoelectrico y prolongado en un fluido, y a medir el tiempo de caída de la temperatura por producir a la escala de medida escogida.

2º) Los resultados, luego verificación práctica, puesto que de ciento de experimentaciones se demuestran rigurosamente, reproducibles, sean fiables.

3º) La forma geométrica del captador (detector) no es un paso limitativo. Forma y materiales pueden variar según las diferentes escalas de medición.

Aquí, se a solamente ilustrado el captador servido por las escalas A, B y C.

4°) Las escalas de base son la A y la B, Más se pueden ajustar de otras el nombre no limita.

Para la escala A, se determina el tiempo que emplea el captador para descender al centro de su masa, de la temperatura de 800°C a 25°C, en la prolongación del medio de enfriamiento, los de aquí están multiplicados por 100

5°) Por cada escala (A, B, C. etc...), la base de la numeración es 100, este es el poder de enfriamiento del agua pura.

6°) Para las escalas A y B, las determinaciones de base de escalas son hechas con un material bien definido y de reglas bien precisas.

7°) Una de las dadas la más útil y a preferir es la combinación C. Esta son prácticamente los valores de dos escalas A y B agrupadas. Se indican por el poder de enfriamiento de 800°C (temperatura inmediata superior al paso de la austenita inestable, de un acero eutectoide no aliado) a 250°C (temperatura inmediata superior a Ms. según la curva TTT de Bain. establecida convencionalmente a 250°C) Con la segunda indicación B se genera el tiempo entre la temperatura de 800°C (austenita. como va esta ahí. por encima de Ae) u 550°C (temperatura correspondiente a poco cerca de la nariz de la perlita en el diagrama de Bain).

8°) La indicación C es extremadamente útil en la práctica. por que ella puede expresar el poder de enfriamiento de un medio de temple. para los valores numéricos por utilizar:

- a) A el taller de tratamientos, le indica el valor de drasticidad en las fichas de trabajo;
- b) En los cuadernos de cargas a los proveedores para indicar la drasticidad de seada en el deseo de una gama de tolerancias;
- c) Para verificar las variaciones del poder de enfriamiento del medio, a consecuencia de lo usado;
- d) Poder determinar las variaciones del poder de enfriamiento en el estado pasivo o de movimiento por producto de la velocidad de circulación.
- e) Para determinar las variaciones del poder de enfriamiento, según las diferentes temperaturas del medio.

9°) Los símbolos pueden ser los siguientes:

- $\overset{\circ}{S}$ (grado de drasticidad) seguido por la letra D (método Dorigo) y en fin a las escalas auxiliares se refiere;

- S= inicial de Severidad

Por ejemplo: $\overset{\circ}{S}DA=9^{\circ}$ (92 grados de drasticidad según el método de Dorigo, escala A).

10º) El método Dorigo no se limita para determinación de valores de medios enfriantes líquidos.

Con las condiciones particulares, se pueden adaptar el método para determinar el poder de enfriamiento en el aire calmado o turbulento y a los grados de temperatura diferentes. El método Dorigo puede servir para probar el poder de enfriamiento de:

- agua, salmuera, soluciones acuosas (P.V.A., glicerina, polialcalinos, etc.) y otros líquidos análogos;
- baños de sales o fluidificados;
- gas (aire y otros);

Sea el estado calmado, sea en movimiento y por producto a la temperatura del medio y a la velocidad eventual de circulación.

11º) Aplicación del aparato para la medida de drasticidad.

Caracterización de la drasticidad de los medios de temple dentro del objetivo:

- el seleccionar un fluido para un problema de temple en particular;
- el controlar la homogeneidad de entrega sucesiva, o el conformado del producto a un cuaderno de cargas;
- el saber la evolución de un baño en servicio y de juzgar la oportunidad de la renovación;
- el analizar la influencia de una polución accidental en la calidad de un fluido, sobre todo por el agua en las sales o en los aceites solubles;
- el estudiar la influencia de parámetros combinando temperatura y movimiento dirigido (circulación) y de emplear el reglaje en las instalaciones industriales de temple (dar paso a la agitación que es un movimiento desordenado)
- de evaluar la parte de responsabilidad del fluido de temple cuando las anomalías metalúrgicas sobrevienen.

12º) Los valores numéricos son tirados de formulas que nosotros tuvimos la ocasión de examinar en el curso de esta proposición de escalas, para la expresión de un valor numérico del poder de enfriamiento de un medio de temple. El método puede ser igualmente aplicado para el aluminio, el cobre, la plata, etc...

Nosotros recordaremos a continuación las formulas básicas:

$$SDA = \frac{18 \times 100}{TA}$$

$$SDB = \frac{9 \times 100}{TB}$$

TA: temperatura en servicio de minus de 80º a 150º en el servicio del dato;

tor indicado en la fig. 6

TB: temperatura en centecimas de minuto de 800 a 500°C en el servicio del detector indicado en la fig. 6

Ejemplo: Se han encontrado, en estado pasivo en un líquido determinado, estos tiempos:

TA: 38 centecimas de minuto

TB: 21 centecimas de minuto

$${}^{\circ}SDA = \frac{18 \times 100}{38} = 47.36 \text{ (redondeando a 47)}$$

$${}^{\circ}SDB = \frac{9 \times 100}{21} = 42.85 \text{ (redondeando a 43)}$$

de donde deriva la combinación:

${}^{\circ}SDC = 47/43$ (valor según la escala A_y , después la barra, valor según la escala B).

Bien seguro, sin tener necesidad de hacer las operaciones aritméticas, se pueden establecer las tablas de conversión tiempo-grados de drásticidad.

El poder de enfriamiento del medio de temple depende principalmente de los factores siguientes:

- El calor latente de vaporización;
- El calor específico;
- La conductividad térmica;
- La viscosidad;
- La temperatura;
- La velocidad de movimiento relativo, pieza a enfriar, medio enfriante.

Cualquiera ejemplos prácticos de determinación del poder de enfriamiento de ciertos líquidos de temple (determinación según el estudio presentado aquí), sirviendo a reproducir las apreciaciones.

LAS CONDICIONES DE
APARICION DE FISURAS
DE TEMPLE SON PRECISAS
Y REPRODUCIBLES

Dentro de la producción en serie de piezas de acero templado, aparecen varias piezas con imperfecciones.

1) Estas son sujetas a la templabilidad de la aleación y a la aptitud del medio de temple al procurar un enfriamiento más rápido de las piezas. Este tipo de defectos se traduce en una dureza superficial insuficiente o no homogénea. La solución del problema consiste en escoger la técnica de temple y la tonalidad del acero bien adaptada. Este tipo de problema puede ser resuelto con la ayuda de un paso razonablemente simple.

2) Unos grupos diferentes de defectos están sujetos a la existencia mientras enfría con gradientes de temperatura entre la superficie de la pieza y las zonas profundas y la existencia de una transformación (frecuentemente martencítica) con aumento del volumen del metal.

La consecuencia de estos dos fenómenos es la aparición de tensiones que pueden conducir a la ruptura del metal o a la deformación irreversible.

La solución de este problema es frecuentemente delicado para encontrar el nombre de parámetro es considerable. Lo práctico y oportuno es sacarlo en medio de dos bases o bien al hecho del llamado de una técnica de temple vigoroso que puede provocar las deformaciones o las grietas, o bien el utilizar un acero más templante, por consiguiente más caro.

Durante la primera guerra mundial PORTEVIN tiende a estudiar las fisuras de temple en los grandes aceros según un paso científico. Subrayando la extrema complejidad del fenómeno que tiende a la multiplicidad de factores que entran en juego, la declaración entonces "no puede ser sometida a los métodos de medida"

De nuestros días, los modelos de previsión de las tensiones son desarrolladas, en particular gracias a los poderosos medios del cálculo del que uno dispone. Estos modelos implican sin embargo un mínimo de simplificación de problemas que permiten establecer un curepo de doctrinas generales para guiar la marcha de la práctica, pero que no conducen a la "entrada" utilizable de modo simple para fijar un caso concreto.

Esta situación amenaza frecuentemente al considerar la aparición de fisuras de temple como un fenómeno aleatorio o totalmente incontrolable. Sin embargo es posible considerar la situación con un poco de optimismo pues la sanja entre el paso riguroso más simplificador de las teorías y el paso empírico siempre muy fiable se combinan progresivamente. Puede ser la misma opinión que de los

puentes existentes por él franqueados. Este artículo entre uno de ellos está dedicado a demostrar que es posible producir perfectamente las condiciones de formación de fisuras, esto indica que todos los parámetros responsables de su formación son bien controlados.

Por otra parte un artículo precedente en tratamientos térmicos demuestra que el paso teórico permite la previsión cuantitativa de las violencias del temple.

La unión entre los dos pasos concluye el objeto actualmente de importantes estudios, tanto en Francia como en otras partes.

1. _ CONDICIONES DEL TRATAMIENTO

El acero utilizado para este estudio se seleccionó en función de su curva TRC por presentar un punto Ms demasiado bajo y una templabilidad suficiente. El matiz 60SC7 responderá bien a estas preocupaciones. Este acero se caracteriza igualmente por su buena voluntad para producir las grietas.

FORMA DE LAS PIEZAS

Las piezas utilizadas son los cilindros de los que la longitud alcanzada es tres veces el diámetro.

AUSTENIZACION

Cuenta firme de la influencia considerable de los estados de superficie de la pieza en el enfriamiento, los tratamientos de austenización son hechos de baja vida.

Una austenización homogénea es obtenida por un mantenimiento de una media hora a 1000°C.

TEMPLE

El temple está hecho al agua a diferentes temperaturas según una técnica de laboratorio que rinde todas las condiciones de operaciones perfectamente reproducibles. Cada prueba se repite de 4 a 10 veces.

OBSERVACIONES DE LAS FISURAS

Las fisuras son puestas en evidencia por macrofotografía de piezas revestidas de un producto antirreflejos.

ESTUDIOS PARAMÉTRICOS

Dos parámetros considerados como representativos:

- *El concerniente al proceso de enfriamiento que está controlado por la temperatura del baño de temple (agua entre 20° y 100°C y agua salada al 15%);*
- *El otro concierne al diámetro de la probeta que esta comprendida entre 4 y 30 [mm].*

2. _ CONDICIONES DE LA APARICION DE FISURAS

Las condiciones de diámetro de la pieza y de temperatura del agua para cuando aparecieran las fisuras serán determinadas de manera muy precisa y será permitido en el trazo de la figura 1 y se observan dos dominios:

- *Los temples con el agua caliente y los pequeños diámetros, se observaran siempre las fisuras;*
- *Para los grandes diámetros y el temple en agua fría, no se observan nunca las fisuras. Las observaciones siguientes son a retener (gráfica) figura 1;*
- *Para una pieza de diámetro dado, la temperatura del agua de temple cuando aparecen las fisuras esta definida de modo extremadamente "puntiagudo" y reproducible, a 0,5°C poco más o menos. Por ejemplo, un cilindro de 20 [mm] de diámetro presenta siempre una fisura después, temple al agua a 57,5°C y no es jamás tapado si se le temple al agua a 56,5°C;*
- *Para una pieza de diámetro dado, no es adherente al agua más fría, luego se efectúa un temple más rápido que no elimina las fisuras.*

3. _ MORFOLOGIA DE LAS FISURAS

Se puede en el caso de una pieza de geometría cilíndrica, distinguir tres formas de fisuras:

Coaxiales por producir al eje del cilindro, longitudinalmente y radialmente el daño.

FISURAS COAXIALES NO SE ENFOCAN HACIA LA SUPERFICIE DEL CILINDRO.

Después de trazar, se observa en la sección de la probeta las fisuras concéntricas, este tipo de fisuras no aparecen en las pequeñas probetas en donde el diámetro es inferior a 16 [mm].

Estas fisuras son las primeras manifestaciones, que aproximan a las condiciones del temple crítico.

Elas constituyen en la práctica un peligro porque no son visibles en las extremidades del cilindro y no desembocan jamás sobre la superficie cilíndrica. Ellas aparecen por la condición de enfriamientos muy precisos puesto que por ejemplo, para el cilindro de 20 [mm] de diámetro, estas fisuras no existen como en el caso del temple al agua entre 57° y 59°C. Se pueden considerar pues como el producto de que las condiciones del temple son el límite de las condiciones críticas, en el caso de aceros donde la templabilidad este medida.

FISURAS DESEMBOCANDO SOBRE LA SUPERFICIE.

Este tipo de defectos esta más en evidencia para todos los diámetros y la evolución de su morfología siempre son las mismas:

- a) Las primeras fisuras visibles sobre la superficie del cilindro es del tipo radial. Para el cilindro de 20 [mm], estas existen cuando se temple al agua a 59 o 60°C.
- b) Desde que la temperatura del agua alcanza 60°C, aparece una composición longitudinal.
- c) Cuando la temperatura del agua es más elevada y las condiciones son más y más favorables a las fisuras, la composición longitudinal de la fisura desemboca progresivamente sobre la composición radial, la fisura acaba por ocupar toda la longitud de la probeta.

La figura 2, constituye una representación esquemática de la evolución de la fisura a medida y al medir que la temperatura del agua de temple aumenta. El primer tipo de morfología no existe para las piezas de diámetro superior a 16 [mm]. Los otros tipos aparecen para todos los diámetros.

Es fácil notar que entre más caliente esta el agua, son más los riesgos de fisuras aumentando y que, por debajo de la temperatura crítica, las piezas no presentan jamás este tipo de defectos, así mismo si se les temple en agua salada a -5°C.



Fig.1_ Dominio de existencia de mermas de temple en función de la temperatura del agua y del diámetro de la pieza.

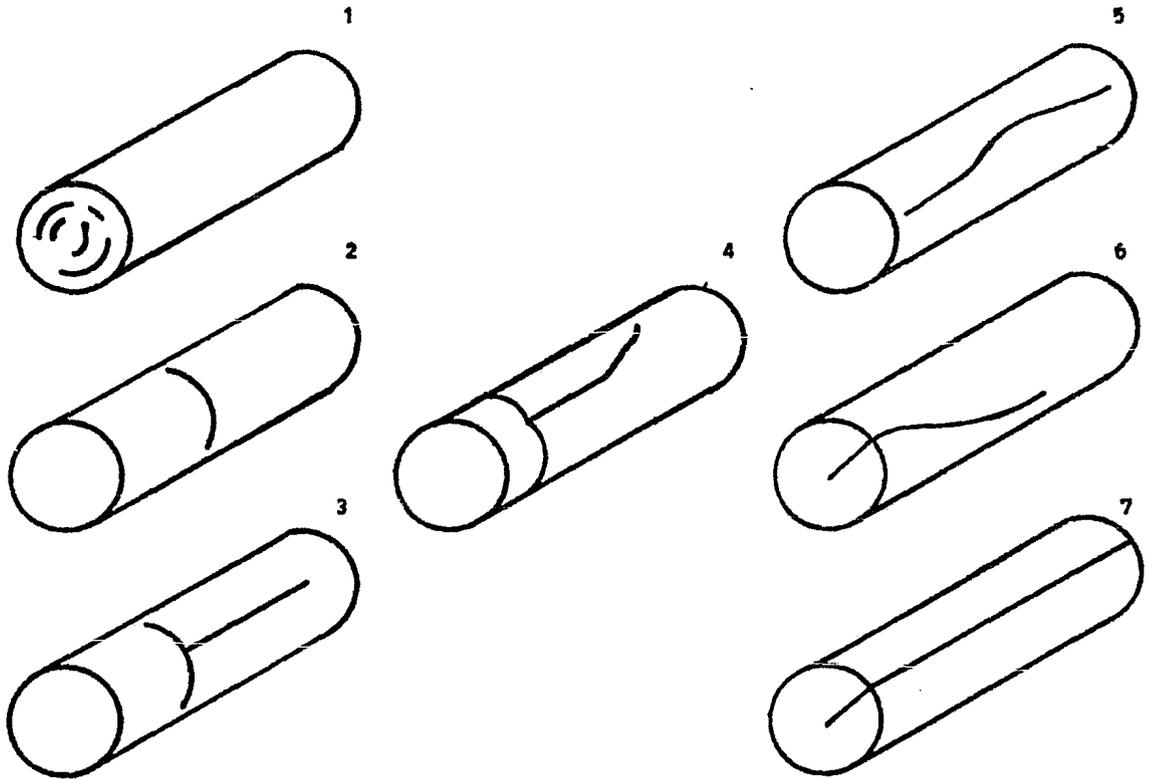


Fig.2_ Principales tipos de morfologías de mermas de temple en un cilindro de acero 60SC7 temple al agua.

Por otra parte, justo al diámetro de 24 [mm], las fisuras aparecen en el mismo caso del temple en agua hirviendo. Sin embargo, para las probetas de diámetro superior, se observa su desaparición debido al hecho que la pieza no presenta más que un porcentaje de martensita muy débil.

4._ CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES MECANICAS

La estructura de temple esta determinada por la dilatométrica de revenido efectuada en las probetas previamente en el seno de piezas templadas por una técnica de electroerosión.

La figura 3, reúne los resultados obtenidos e indica, en función del diámetro de la pieza, el porcentaje de martensita en la superficie y el corazón de cilindros templados sea en agua fría, sea en agua hirviendo.

Las durezas correspondientes son indicadas en la figura 4.

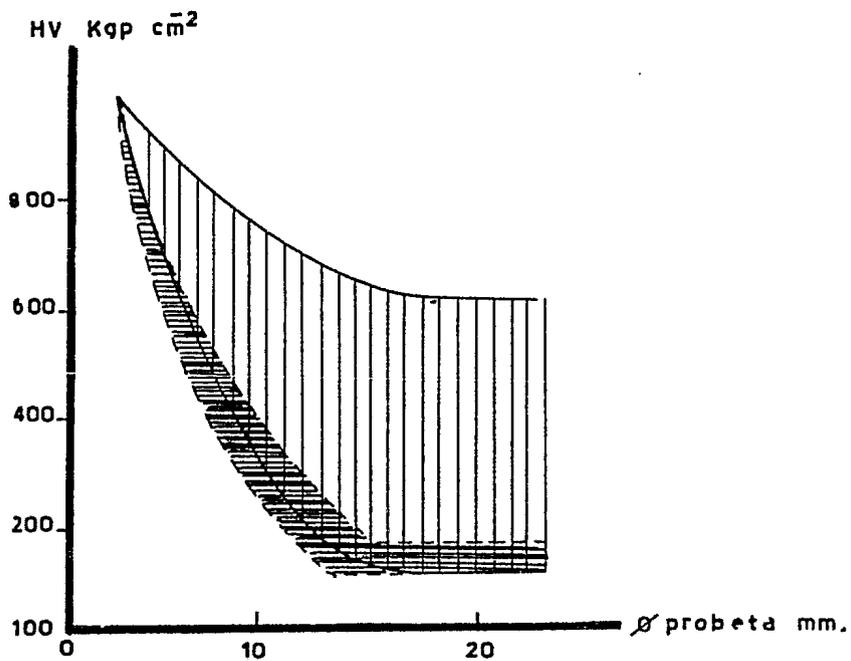
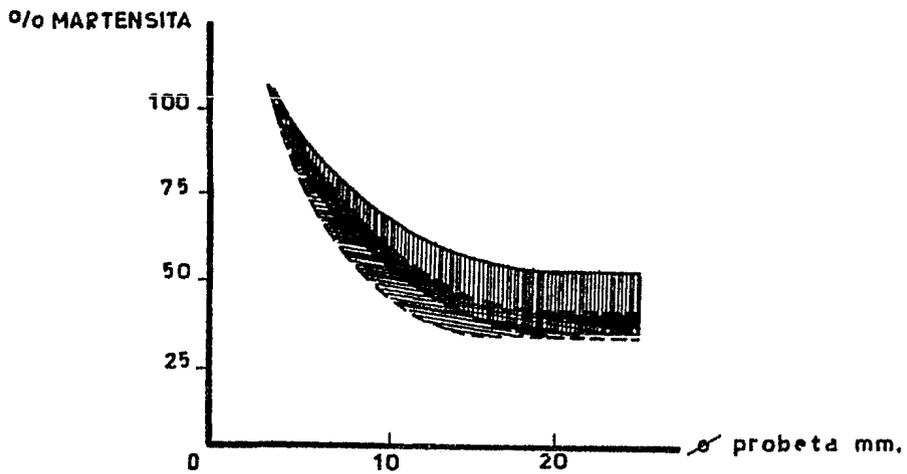
5._ DISCUSION

Los resultados de este estudio aparecen a continuación. En el estado actual de conocimientos, lo mismo a la idea del modelo cualitativo de Rose y Buhler no es posible el proponer una interpretación completa. Esto es por que es útil el comentar y sacar de estos resultados cualquier hecho importante:

- La dureza obtenida por temple depende directamente de la velocidad de enfriamiento, así mismo que la formación de fisuras, esto que constituye un resultado a todo hecho clásico.
- Se verifica que si el temple esta bien ejecutado, la dureza obtenida es perfectamente reproducible y que ella varia de manera progresiva cuando se modifica la velocidad de enfriamiento.
- Las condiciones de aparición de fisuras se puede revelar y son perfectamente reproducibles apesar de las características extremas "puntiagudo" las condiciones que pueden pasar de la ausencia de fisuras a su aparición.

Esto significa ánda, este hecho que conduce frecuentemente a considerar este fenómeno como delante del otro análisis de modo estático, como al instar por ejemplo su comportamiento a fatiga.

Este estudio a permitido el verificar que si la ley de enfriamiento de



una pieza es perfectamente reproducible, los mecanismos responsables de contracciones internas son igualmente y perfectamente reproducibles. Falta notar que:

- Puesto que las condiciones de formación de fisuras son a la vez reproducibles y "puntiagudas" y no es sorprendente que en una misma cubeta de temple las piezas idénticas puedan ser o no tapadas.

El hecho importante es que, para evitar todo riesgo de fisuras, las condiciones de enfriamiento deberán ser también alejadas lo más posible de la frontera del dominio de fisuras tal como están presentes en la figura 1. Así ninguna zona de la carga a temprar no corre el riesgo de cruzar la frontera.

- Una última observación parte sobre la característica paradójica del hecho que en el temple con el agua más fría, luego en enfriamiento más rápido, se desaparecen los riesgos de fisuras. Esta constatación puede ser interpretada de manera cualitativa, más la falta se conserva de la generalización. Ella permite no obstante el valor una notación importante: la falta en la materia, prohíbe toda idea reciente y toda simplificación.

En particular, toda reflexión fundada en una, cualquier noción de velocidad media de enfriamiento deberá ser utilizada con prudencia por el riesgo de enmarcar las realidades muy diferentes.

6. _ EJEMPLO DE APLICACION

Nombraremos el ejemplo del temple al aceite de piezas de acero serie 45SC7 donde la geometría general es bastante próxima del cilindro y el diámetro vecino de 50 [mm], el temple al aceite, luego austenización al aire, dando una producción sana, si la austenización es hecha bajo atmósfera controlada, la superficie perfectamente propia de piezas engendradas, puesto que del temple, una modificación bastante débil de la ley de enfriamiento suficiente que provoque un porcentaje de piezas tapadas. La modificación de superficie de piezas es luego suficiente para que una fracción de ellas atraviese la frontera de la zona de fisuras.

La solución a este problema consiste en poner a un punto del aceite que devuelva el enfriamiento a la zona sin fisuras. Desarrollando en condiciones industriales, esta solución es perfectamente fiable.

CONCLUSIONES

Describir y preveer de manera cuantitativa los mecanismos de formación de piezas o de formación de fisuras, puesto que el temple exige un paso teórico muy pesado que no llega de manera fragmentaria y simplificada. El paso descrito en este artículo es totalmente empírico, más ello permite poner en evidencia las faltas importantes desde el punto de vista práctico.

Esta falta, lo más sorprendente es la caracterización totalmente reproducible más muy puntiaguda de pasar entre las condiciones de temple sin fisuras y las condiciones de temple con fisuras.

Estos principios permiten el guiar una reflexión que bien que resta cualitativa, aportando las soluciones fiables a los problemas industriales no resueltos de manera satisfactoria por el paso tradicional, consistiendo simplemente en aminorar el enfriamiento para evitar fisuras.

80

RECOMENDACIONES DE
SEGURIDAD CONCERNIENTE
A LAS CUBETAS DE TEMPLE
CON ACEITE . . .

incorporada a los hornos de
tratamientos térmicos funcionando
bajo atmósfera controlada a una
temperatura superior a 760°C

Consejos de seguridad para la concepción y la construcción de cubetas de temple para aceites incorporadas a los hornos de tratamientos térmicos funcionando bajo atmósfera controlada a una temperatura superior a 760°C.

Definición de algunos temas significativos utilizados en este capítulo:

- . Debe: indica una obligación,*
- . Deberá: señala una recomendación o un consejo más no un carácter obligatorio,*
- . Aprobar: significa aceptable para las autoridades competentes al juzgar, tales como organismos especializados para la aprobación de normas, de estándares y de conformidad.*

GENERALIDADES

DEFINICION SUMARIA DEL MATERIAL CONSIDERADO

Las cubetas de temple al aceite estan asociadas a un tipo de horno en especial de tratamientos térmicos trabajando bajo atmósfera controlada.

El ensamble del horno y su cubeta, de construcción hermética, permiten tener bajo atmósferas inflamables a los productos en curso de tratamiento, desde su entrada al horno, en tráfico para el temple, hasta su salida.

Tres principales dispositivos de temple son tratados en el capítulo:

Tipo I.- Elevación de temperatura elevada y prolongada.

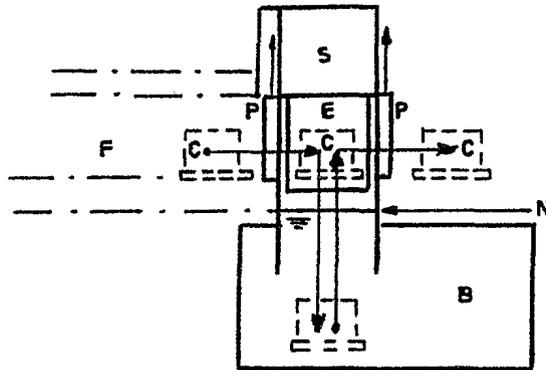
Tipo II.- Elevación de temperatura prolongada con transferencia bajo el nivel de aceite.

Tipo III.- Caída por gravedad de productos en el aceite, después extracción por elevación (un canalón hermético debe remplazar en este caso la cámara de comunicación entre el horno y la cubeta del aceite).

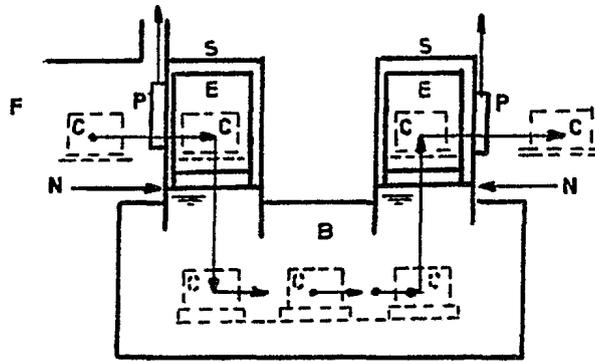
La composición del gas de atmósfera utilizado depende de las propiedades metalúrgicas exigidas del producto tratado.

Esta atmósfera esta surtida por un dispositivo generador separado o no del horno. La adición de uno o varios gases de complemento es frecuentemente práctica.

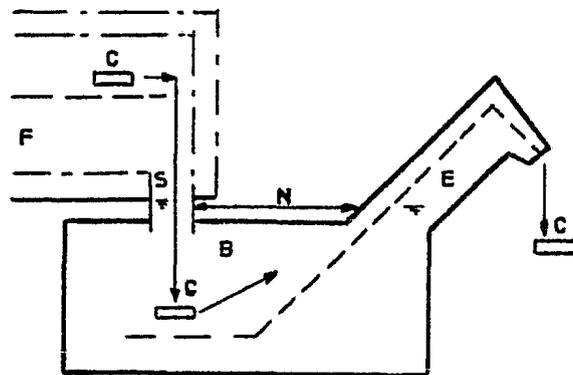
Una ligera superpresión del gas de atmósfera (algunos milímetros de $\bar{C}E$) puede existir en el interior del horno para impedir la entrada del aire, en particular en el caso del exterior de la cámara situada arriba del aceite de temple.



Tipo 1: Elevador de temple prolongado.



Tipo 2: Elevador de temple prolongado con transferencia bajo el nivel de aceite.



Tipo 3: Caída por gravedad después extracción por elevador.

- | | | |
|---------------------|------------------------|-----------|
| B: cubeta de temple | F: encendido del horno | S: cámara |
| C: carga | N: nivel de aceite | |
| E: elevador | P: puerta | |

La temperatura mínima de utilización del horno considerada en este caso debe ser de 760 °C.

No importa que tipo de calentamiento pueda ser utilizado para el tratamiento de productos, a menos que no sean una influencia nefasta en las características físico - químicas de la atmósfera.

La cubeta de temple está incorporada y está compuesta de una cámara hermética, eventualmente de un canalón de comunicación con el horno.

Por extensión de la cámara en el sentido de la altura o en el sentido de lo largo, una habitación de enfriamiento puede ser adjunta.

La cubeta de temple incorporada puede ser provista de todas las combinaciones de calentamiento y enfriamiento, en función de las características del tratamiento exigido.

Los medios de calentamiento o enfriamiento no deben de ningún modo afectar las características físico - químicas del aceite de temple.

PRINCIPALES RIESGOS INCURRIDOS

El horno de tratamientos térmicos está equipado de una cubeta de temple incorporada y utiliza un líquido combustible como el aceite, presentando los riesgos donde las consecuencias pueden ser graves: incendio, explosión, asfixia y quemaduras... Estos peligros son acusados por la utilización de atmósfera inflamable dentro del laboratorio o el horno.

RIESGO DE INCENDIO

Las causas principales del incendio en las cubetas de temple son las siguientes:

a) Acumulación de agua en el líquido de temple;

- por presencia de agua en el líquido de temple y en el fluido liberado de las cubetas;

- por condensación en las paredes de la cámara;

- por fugas de un órgano de enfriamiento (o toda causa ajena a la instalación o a su alimentación).

Esta agua recogida en el líquido de temple contiene el calor transmitido por los productos al momento del temple y se transforma en vapor. La expansión

que resulte puede originar el desbordamiento de la cubeta de temple hacia las partes calientes que provoquen la inflamación de la emulsión.

b) Carga no completamente sumergida:

La influencia de una carga no completamente sumergida (por ejemplo falta de funcionamiento de elevación) provoca una vaporización intensa del líquido de temple que se puede desbordar por sobre compresión.

c) Defectos de cierre de la puerta intermedia situada entre el laboratorio del horno y la cámara:

El mismo fenómeno que se describe en "b" puede ser producido (a causa de la influencia del horno a través de la abertura de la puerta).

d) Fallo de medidas de mantenimiento del nivel del baño de aceite:

- defecto del control de nivel,
- defecto de reposición de nivel;
- obstrucción de lleno en demasia.

e) Nivel muy bajo del líquido:

- esto puede provocar una vaporización del líquido de temple en las mismas condiciones que en el párrafo "b" (a causa de la inmersión incompleta de la carga);
- Esta puede provocar la acumulación de gas o a la entrada de aire si los orificios de circulación de aceite no son más sumergidos;
- este puede descubrir la superficie de cambio de elemento de calentamiento (sumergidos en funcionamiento normal).

f) Recalentamiento anormal de los elementos de calentamiento:

- defecto del control de temperatura o defecto de intercambio térmico;
- detención anormal de la mezcla del baño.

g) Mala utilización del horno:

- por exceso de temperatura;
- por descenso de temperatura no controlado;
- por utilización del horno a temperatura demasiado baja, menor de 760 °C.

RIESGO DE EXPLOSION

Dentro de todos los casos una entrada de aire en la cámara situada por encima de la cubeta de aceite constituye una de las condiciones suficientes para provocar la explosión.

- Las explosiones se producen frecuentemente a consecuencia de falsas maniobras, por ejemplo desde la abertura de la puerta exterior de la cámara, cuando un defecto de la cortina de flama o del piloto se producen, estos dispositivos están previstos para impedir la entrada de aire.
- Una producción insuficiente de gas o de atmósfera puede permitir la entrada de aire por falla de presión al interior de la cámara, y particularmente desde el temple de una carga o de la abertura de una puerta del horno o de la cámara, en provocación de fluctuaciones no compensando la presión.

Los defectos descritos en el capítulo "incendio" de niveles de líquido de temple o de carga incompletamente sumergida puede igualmente provocar la explosión por entrada de aire.

- Todo defecto de hermetismo puede provocar la explosión por entrada de aire.
- La temperatura mínima de utilización del horno debe ser de 760 °C. Como está indicado en el párrafo "Descripción del material considerado".

Un descenso de temperatura por debajo de 760 °C es una consideración suficiente de riesgo de explosión.

RIESGO DE ASFIXIA Y DE INTOXICACION

Los accidentes se producen principalmente por la intervención en reconstrucción o reparación: la liberación de óxido de carbono puede provenir del relleno refractario o de otros elementos luego de la detención de la instalación.

De los defectos de las compuertas y de las puertas igualmente puede ser la causa.

En explotación de pilotos o de hornos pueden perjudicar el medio ambiente por falta de ventilación.

QUEMADURAS

Las quemaduras pueden ser causadas por:

- por los accidentes descritos anteriormente;
- por la falta de precaución en la manipulación o en la intervención.

PRINCIPIOS GENERALES DE PROTECCION

- a) *Un dispositivo de control de elevación anormal de la temperatura del aceite debe ser prevista y debe dominar el centro de temple y cortar el calentamiento, y accionar un sistema de alarma suspendiendo la extracción de carga caliente del horno.*
- b) *Si la agitación del medio de temple es necesario para evitar el sobrecalentamiento, su puesta en marcha debe ser controlada para interferir la operación de temple en tanto la agitación no este en un paso efectivo (carga dentro del laboratorio del horno y puerta firme).*
- c) *Un regulador automático de la temperatura debe ser instalado en el sistema de enfriamiento de la cámara para asegurar la temperatura deseada de la pared de la cámara y esta sea enfriada, a fin de evitar la condensación de la pared y los riesgos de fuga.*
- d) *La cubeta de temple debe estar equipada de dispositivos de alarma accionados automáticamente cuando el nivel este alto o bajo, para maneobrar y evitar un accidente y particularmente la extracción de carga caliente del horno.*
- e) *La cubeta de temple debe ser equipada de un indicador fiable del nivel de líquido de temple. Este tipo de aparatos debe ser de construcción particularmente robusta y protegerse de los golpes.*
- f) *El mando de las puertas de la cámara debe ser controlada de manera que prohíba la apertura si el elevador no esta en buena posición o si el piloto de la cortina de flama esta apagado (el control de la flama deberá ser efectuado antes de toda operación).*
- g) *El temple debe ser incapasitado cuando el contenido en volúmen de agua en el aceite de temple sea superior al 0,35%.*

La detección continua y eventualmente un análisis periódico programado del contenido de agua deberá hacerse entre pruebas.

- h) *El punto de ignición del aceite de temple deberá verificarse a la recepción y en el curso de servicio.*
- i) *La cubeta de temple del aceite debe estar equipada a un puesto fijo de un dispositivo de extinción contra incendios.*

Los tubos de aspersión deben ser encima del nivel del baño de aceite y en el interior de la cámara. El mando a distancia deberá ser accesible. Los clic

mentos activos pueden ser por ejemplo el gas carbonico.

- j) Las reglas concernientes a la admisión, el control y el mantenimiento de la atmósfera en la cámara de la cubeta de temple son anotados en la norma N.F.P.A. N° 86C, capítulo 7 y 8 relativos a los hornos de la clase C (con introducción de atmósfera en la zona por encima y por debajo de 760 °C y eliminación por quema).
- k) Un gas neutro (nitrogeno o carbonico) deberán utilizarse para la purga de la cámara en caso de empleo de gas de atmósfera combustible:
- que de la puesta debajo de la atmósfera;
 - en caso de cortaduras accidentales del gas de atmósfera;
 - por quitar voluntariamente el gas de atmósfera de la cámara.
- l) Un arribo de gas neutro deberá ser juiciosamente colocado en un punto alto de la cámara o en cualquier otro sitio o el gas combustible puede acumularse.
- m) Por mitigar eventualmente los fracasos de hermetismo de la compuerta de arribo de gas de atmósfera combustible, un sistema de tres puertas, llamado "triángulo de seguridad" deberá ser adoptado. En todos los casos de intervención en el horno, se deberá desconectar la trayectoria de arribo del gas.
- n) Luego de tener purgado el horno por la detención, se debe tener cuidado de dejar la puerta exterior de la cámara abierta.
- o) Si una intervención necesita la abertura manual de la puerta de la cámara, esta operación deberá ser efectuada bajo la supervisión de un responsable de taller y siguiendo de las consignas particulares (dado el caso, el mando de la puerta deberá ser accionado a distancia).
- p) Dos causas independientes de la instalación pueden igualmente provocar los accidentes: fallo o fuga de agua, de gas, de aire comprimido, corte de electricidad fallo de ventilación... Se debe tener en cuenta y verificar los dispositivos y las consignas de seguridad particulares sean aplicadas.
- q) En todos los casos, las consignas de seguridad y de entrenamiento deberán ser establecidas por el constructor y adaptadas para su utilización de común acuerdo, todos los detalles de secuencias y de puntos de referencia de tipos y estado de componentes deberán figurar por:

- la puesta en marcha
- el funcionamiento normal
- el arreglo
- los casos de urgencia.

n) El entrenamiento preventivo deberá ser efectivo y los controles sistemáticos deberán ser efectivos y ejecutados, en particular se deberán verificar periódicamente, por ejemplo el hermetismo de ejes de mando de turbinas, de elevadores de carga, etc... O también verificar igualmente el hermetismo de puertas y de cambiadores de calor.

Todo el equipo de control y de seguridad deberá ser revisado periódicamente, más no se podrá remplazar una persona o personal correctamente entrenada.

CONSEJOS DE SEGURIDAD PARA LA CONCEPCION Y LA CONSTRUCCION DE CUBERTAS DE TEMPLE CON ACEITE

CAMARAS DE TEMPLE

a) Las cámaras de temple deberán ser herméticas a los gases y deberán ser construidas en defensa completa contra incendios, de explosión y de corrosión.

b) Si las cámaras son empleadas en algo más de su función principal como cámara de enfriamiento, es necesario el prevenir un enfriamiento forzado.

A causa de la corrosión y de sus efectos, el enfriamiento por agua no debe pasar a ser utilizado salvo bajo la forma de serpentín o dispositivos como jantes ejecutados en tubos de un metal no corroible soldando varillas en las paredes externas de la cámara de enfriamiento que pueden permitir transferencia térmica aceptable. Todos los dispositivos deben ser valuados para evitar la condensación interior por puntos fríos.

c) La puerta intermedia entre el horno y la cámara deben ser pantalla térmica para empesar la transmisión de calor hacia la cámara de temple.

d) Las aberturas de seguridad y de servicio deben ser provistas y montadas atraves de juntas herméticas.

e) Todas las puertas exteriores de carga y descarga deben estar equipadas de puercos pilotos o vigilantes de combustión estable, convenientemente dimensionados y suministrar de un control de flama mediante una señal y condenando la abertura de la puerta de la cámara. Botón para piloto o vigilante aislado.

ser convencionalmente orientada de manera a no provocar, en caso de incendio o al encendido, ninguna introducción accidental de gas combustible en la cámara; y deberán ser visibles para la operación.

- f) Un dispositivo de escape calibra el gas de atmósfera inflamable deberá ser provisto a fin de asegurar una presión constante en la cámara. Deberá ser dispuesto de manera de no exponer las operaciones. Un quemador piloto o vigilante a combustión estable, convenientemente dimensionado, debe equipar el abanico para encender el gas evacuado.
- g) Las campanas con chimenea deben ser provistas por encima de cada puerta este -- rior u horno a cada abanico para evacuar el gas quemado al exterior del taller.
- h) Los dispositivos de expansión del gas deben estar previstos a fin de atenuar los efectos de explosión. Estos deben ser convenientemente puestos y dimensionados, los accesos deben ser fáciles para asegurar la verificación y el mantenimiento.

ELEVACION DE LA CARGA

La elevación de carga y el descenso de esta deberá ser con el mínimo de salpicaduras en el medio de temple.

Al final del tiempo necesario para el temple, el elevador debe remontar en posición de goteo.

La elevación debe ser estudiada y realizada con cuidado a fin de evitar los accidentes provocados por un mal funcionamiento.

La conducción de la elevación debe estar prevista para asegurar la uniformidad y la estabilidad del movimiento.

O debe igualmente preveer la conducción y la retención para que la carga sea correctamente posecionada en el elevador.

CUBETAS DE TEMPLE

- a) Las cubetas de temple deben ser estudiadas y construidas para contener el volumen necesario de líquido de temple a la temperatura de funcionamiento previsto y comprendido por la carga de volumen máximo o de la masa máxima.
- b) Antes de utilizar la cubeta de temple deberá ser sumisa al control de hernétismo.
- c) El nivel máximo de líquido en la cubeta de temple, para cada categoría de carga en posición semirizada, deberá ser situada a menos de 150 mm por encima del um-

bral de la puerta o de toda abertura que comunique con el horno.

- d) La concepción y la capacidad de la cubeta de temple deberá ser semejante al movimiento de inmersión de una carga de peso y de temperatura máxima, la elevación de la temperatura del aceite a semejanza de la carga restante inferior a menos de 30°C del punto de ignición.
- e) Los dispositivos de enfriamiento deben permitir el restablecimiento de la temperatura de consigna del medio de temple en un tiempo inferior al comprendido entre dos temples consecutivos por dos cargas correspondientes o tonelaje máximo y a la cadencia máxima.

COMPORTEAMIENTO DEL SOBRANTE

La cubeta de temple deberá estar provista de un sobrante de sección convertible y que permita la evacuación por gravedad del aceite hacia un lugar fuera de la construcción o hacia una sisterna de recuperación. Los sobranes deben ser sellados para evitar toda fuga de gas de atmósfera, así como el sifón del aceite.

- a) Las conductas de sobranes deben poder asegurar una debida evacuación correspondiente a la producción máxima de recambio del aceite de temple, su diámetro deberá ser suficiente para evitar la obstrucción accidental.
- b) Para las grandes cubetas de temple, varias tomas de sobranes son preferibles a un conductor grueso único.
- c) Las cañerías de sobranes deberán ser reacomodadas a la cubeta de temple por un ensanche para facilitar el derrame.
- d) Estos puntos de conexión y de unión de conductos de evacuación y de sobranes deben ser estudiados de modo de permitir un acceso fácil para inspeccionar y limpiar el interior.

El umbral de diversos sobranes deberá ser situado a un nivel tal que en algún caso el aceite no se pueda desbordar ni al interior del horno ni al exterior. La cota es de 150 mm en un valor mínimo para asegurar la garantía necesaria.

- e) Ninguna compuerta deberá ser colocada en el camino del sobrante, ni en el ángulo del conducto.

CONDUCTOS DE VACIAMIENTO (vaciedad mínima)

Los conductos de vaciamiento, tamaño (verdad mínima) y material (verdad mínima)

zados en este genero de instalaciones, y en todo caso de consignas especiales deberán ser aprobadas por las autoridades competentes, y deberán ser tomados en cuenta en particular, los puntos siguientes:

- a) Vaciamiento de la cubeta en un tiempo del orden de 5 minutos
- b) Sincronización de vaciamiento con el aumento de producción de alimentación de gas de seguridad por impedir la entrada de aire por depresión.
- c) Paso de la tubería de evacuación para evitar la entrada de aire.
- d) Precaución a fin de evitar daños al medio ambiente.

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE ACEITES DE TEMPLE

Las cubetas de temple son generalmente provistas de un sistema de enfriamiento para mantener el medio de temple a la temperatura de funcionamiento escogida.

Los diferentes sistemas actualmente utilizados resultan de los criterios siguientes:

- . Temperatura de consigna del medio de temple;
- . Naturaleza del fluido de enfriamiento:
 - agua
 - aire
 - otro fluido compatible
- . Disposición del intercambiador:
 - sumergido en la cubeta
 - en doble pared.

EMPLEO DEL AGUA COMO FLUIDO DE ENFRIAMIENTO

El agua no deberá ser utilizada como fluido de enfriamiento, sobre todo en el interior de una cubeta o en el empleo de un líquido combustible como medio de temple, salvo en las condiciones particulares por las cuales las precauciones específicas deben ser puestas y aprobadas por un organismo competente.

EMPLEO DEL AIRE COMO FLUIDO DE ENFRIAMIENTO

Se adoptará de preferencia la circulación del aire por ventilador aspirando a través del intercambiador.

CASO DE OTROS FLUIDOS USADOS PARA EL ENFRIAMIENTO

Un estudio especial deberá ser interpuesto al nivel de la seguridad y aprovechamiento.

RECOMENDACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE INTERCAMBIADORES

La construcción del intercambiador deberá ser ejecutada según las reglas del arte con los materiales presentando una buena resistencia a la corrosión y no pueden producir efectos de catálisis.

El ensamble del equipo deberá ser aprobado y verificado avanzando su puesta en servicio; y deberá ser sometido a controles periodicos.

El intercambiador deberá ser de tal manera que no sea expuesto a los daños: choques, etc...

El rendimiento del fluido de temple deberá ser controlado y asegurar su temperatura.

Para mitigar el defecto de aumento anormal de la presión de un fluido de enfriamiento en el intercambiador un dispositivo deberá ser previsto y la evacuación del fluido debe efectuarse hacia un lugar seguro.

CONTROL DE CALENTAMIENTO DE LAS CUBETAS DE TEMPLE

Elementos de calentamiento sumergidos, alimentados por un combustible.

Los elementos de calentamiento sumergidos alimentados por un combustible, deben ser instalados y protegidos según la prescripción del capítulo V de la N.F.F.A. N°. 86C (en particular, control de combustible de pilotos y quemadores).

Los sistemas de control de quemadores deben ser asegurados a un dispositivo de agitación o de recirculación del líquido de temple para evitar todo recalentamiento local del medio de temple.

Un dispositivo de vigilancia del nivel del líquido y de la temperatura deben asegurar el calentamiento.

ELEMENTOS SUMERGIDOS A CALENTAMIENTO ELECTRIC

Los elementos sumergidos a calentamiento eléctrico deben ser blindados, y deberán ser instalados de manera que la totalidad de la superficie caliente sea completamente sumergida en el líquido de temple en todo momento.

DE MANERA GENERAL EL MEDIO DE TEMPLE DEBE SER MANTENIDO POR:

- . Un regulador de temperatura para mantener el medio de temple, para de tener el calentamiento en caso de detección de baja del nivel, con se ñalización de baja del nivel, con señalación y prohibición de la operación de temple.
- . Un dispositivo de control de agitación o de recirculación del líquido para evitar todo sobrecalentamiento local del medio de temple con señalamiento.
- . Un dispositivo termostático de seguridad independiente para interve - nir la operación de temple y dar la alarma en caso de defasamiento anormal de la temperatura.



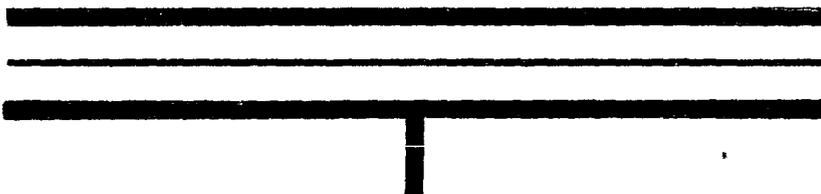
CURVA DE LA "S"

DIAGRAMA T T T

(temperatura, tiempo, transformación)

DIAGRAMA T-I

(transformación isotérmica)



CURVA DE LA "S"

Para el estudio de los tratamientos térmicos, principalmente el temple normalizado y recocido de los aceros, es muy interesante la representación gráfica ideada por Bain y Davenport, llamada por unos curva de la "S", debido a su forma característica, y por otros diagramas o curvas TTT (temperatura, tiempo, transformación) y también diagrama de transformación isotérmica de la austenita, que señala, a diversas temperaturas, el tiempo necesario para que inicie y complete la isotérmica transformación de la austenita en otros constituyentes.

Esas curvas se pueden determinar estudiando el proceso de transformación de la austenita a temperatura constante.

Los ensayos se realizan con una serie de probetas de acero de pequeñas dimensiones que se calientan a una temperatura ligeramente superior a la crítica Ac_3 o A_{cm} ; luego, se introduce en un baño de sales o de metal fundido, consiguiéndose después de cierto tiempo de permanencia del acero a esa temperatura, la transformación de la austenita. El ensayo se completa efectuando otras operaciones en baño de sales o de metal fundido, a temperaturas variables desde $720^{\circ}C$ hasta temperatura ambiente.

METODO METALOGRAFICO

Para determinar la curva de la "S" de los aceros se emplean principalmente dos métodos: el metalográfico y el dilatométrico, los pasos que generalmente se siguen para determinar un diagrama de transformación isotérmica mediante el método metalográfico son:

Fase 1._ Preparar un gran número de muestras cortadas de la misma barra. Un método para manejar las pequeñas muestras durante el tratamiento térmico consiste en pasar un alambre por un agujero en la muestra. La sección transversal tiene que ser pequeña para que reaccione rápidamente a los cambios de temperatura.

Fase 2._ Colocar las muestras en un horno o en un baño de sal fundida a la temperatura de austenización adecuada. Para un acero 1080 (eutectoide), esta temperatura es aproximadamente $773.88^{\circ}C$. Se deben dejar a la temperatura dada por un tiempo suficiente para que llegue a ser austenita por completo.

Paso 3._ Colocar las muestras en un baño de sal fundida que se mantenga a una temperatura constante (subcrítica, una temperatura por debajo de la línea Ae_1), por ejemplo, 704°C .

Paso 4._ Después de variar los intervalos de tiempo en el baño de sal, cada muestra se temple en agua fría o en salmuera enfriada con hielo.

Paso 5._ Después del enfriamiento, a cada muestra se le toma la dureza y se estudia microscópicamente.

Paso 6._ Los pasos anteriores se repiten a diferentes temperaturas subcríticas hasta que se determinan suficientes puntos para graficar las curvas en el diagrama.

Realmente hay un interés en saber que efectos tiene la austenita a 704°C , pero las muestras no pueden estudiarse a esa temperatura por lo tanto, se debe relacionar de alguna manera el examen microscópico a temperatura ambiente con lo que está sucediendo a la temperatura elevada. Dos puntos deben tenerse en cuenta:

- 1._ La martensita se forma solo de la austenita casi instantáneamente a bajas temperaturas.
- 2._ Si la austenita se transforma a una temperatura mayor a una estructura estable a temperatura ambiente, un rápido enfriamiento no cambiará el producto de transformación. En otras palabras si la perlita se forma a 704°C , la perlita será exactamente la misma a la temperatura ambiente no importa que tan drásticamente se temple, ya que no hay razón para que la perlita cambie.

La figura 1 contiene esquemáticamente los pasos 3, 4 y 5. La muestra 1 después de 30 seg a 704°C y templada, mostró sólo martensita a la temperatura ambiente. Como la martensita se forma sólo de austenita a bajas temperaturas, significa que al final de los 30 seg a 704°C sólo había austenita presente y que la transformación todavía no había empezado. La muestra 2, después de 6 hrs a 704°C y templada, reveló un 95% de martensita y 5% de perlita gruesa a temperatura ambiente (véase la figura 2). Significa que al final de las 6 hrs a 704°C había 95% de austenita y 5% de perlita gruesa. La transformación de austenita a 704°C ya ha empezado y el producto de transformación es perlita gruesa. Empleando el mismo razonamiento de lo anterior se puede seguir el avance de la transformación de austenita al estudiar las muestras 3, 4, 5 y 6. Las curvas de transformación iso

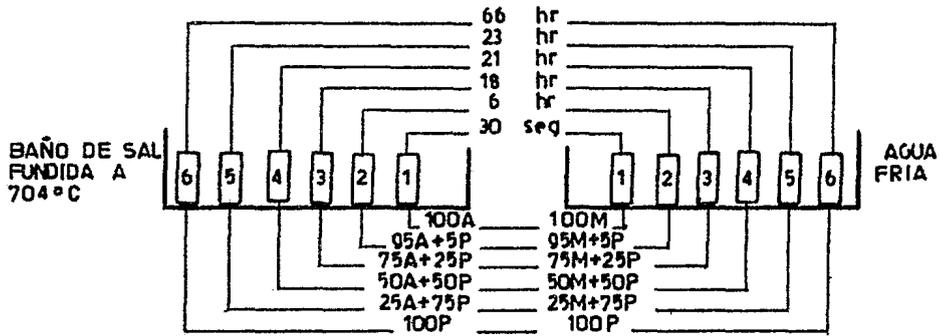


Fig.1 El progreso de la transformación de austenita a perlita gruesa a 704°C está relacionado con la estructura a temperatura ambiente: A es austenita, M martensita, P perlita.

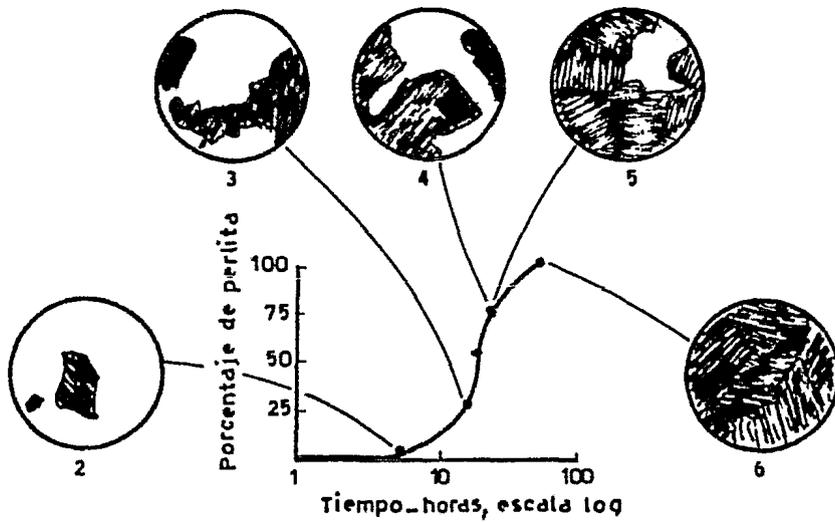


Fig.2 Curva típica de transformación isotérmica de austenita a perlita para un acero 1080 (eutectoide) a 704°C: la martensita es el área clara. Las microfotografías corresponden a los números de la muestra de la figura 1. Amplificación 500x.

térmica típica a 704°C y varias de las microestructuras a temperatura ambiente se muestra en la figura 2. Las áreas claras son martensita. Nótese que la transformación de austenita a perlita es no lineal. Inicialmente, la rapidez de transformación es muy lenta, luego aumenta con rapidez y finalmente disminuye.

Como resultado de este experimento, se puede graficar dos puntos a 704° o sea, el tiempo para el principio y el tiempo para el final de la transformación también es practica común graficar el tiempo para el 50% transformado. El experimento completo se repite a diferentes temperaturas subcríticas hasta que se determinan suficientes puntos para dibujar una curva que muestre el principio de la transformación, otra curva que indique el fin de la transformación, y una curva punteada entre ambas que muestre el 50% transformado (figura 3).

Las principales curvas del diagrama T-I se dibujan como líneas gruesas para destacar su colocación exacta sobre la escala tiempo no es altamente precisa. A menudo, porciones de estas líneas se muestran como líneas punteadas para indicar un grado de incertidumbre mucho mayor. El tiempo se grafica sobre una escala logarítmica, de manera que periodos de un minuto o menos, así como periodos de un día o de una semana, pueden fijarse en un espacio razonable y además permiten una escala abierta en la región de periodos cortos. Para construir un diagrama razonablemente exacto, se requiere el tratamiento térmico y el estudio metalográfico de más de un ciento de muestras individuales.

La figura 4 muestra el diagrama T-I para un acero eutectoide 1080. Por arriba de A_{e1} , la austenita es estable. El área a la izquierda del principio de la transformación consta de austenita inestable; el área a la derecha de la línea del fin de la transformación es el producto al que se transformará la austenita a temperatura constante; y el área entre el principio y el fin de la transformación, marcada por A+F+C, consta de tres fases, austenita, ferrita y carburo, o austenita más el producto al que se transforma. El punto al principio de la línea de transformación más alejado a la izquierda se conoce como la nariz del diagrama en todos los diagramas, excepto para el acero eutectoide, hay una línea adicional por encima de la región de la nariz.

La primera línea a la izquierda indica el principio de la transformación de austenita a ferrita proeutectoide en aceros hipoeutectoides o cementita proeutectoide en aceros hipereutectoides, en tanto que la segunda línea indica el principio de la transformación de austenita a perlita. El área entre las dos líneas se marca como A+F (austenita más ferrita proeutectoide) o como A+C (austenita más cementita proeutectoide).

Por lo general ambas líneas se unen en la región de la nariz. La temperatura M_s se indica como una línea horizontal. Las flechas que apuntan a la esca-

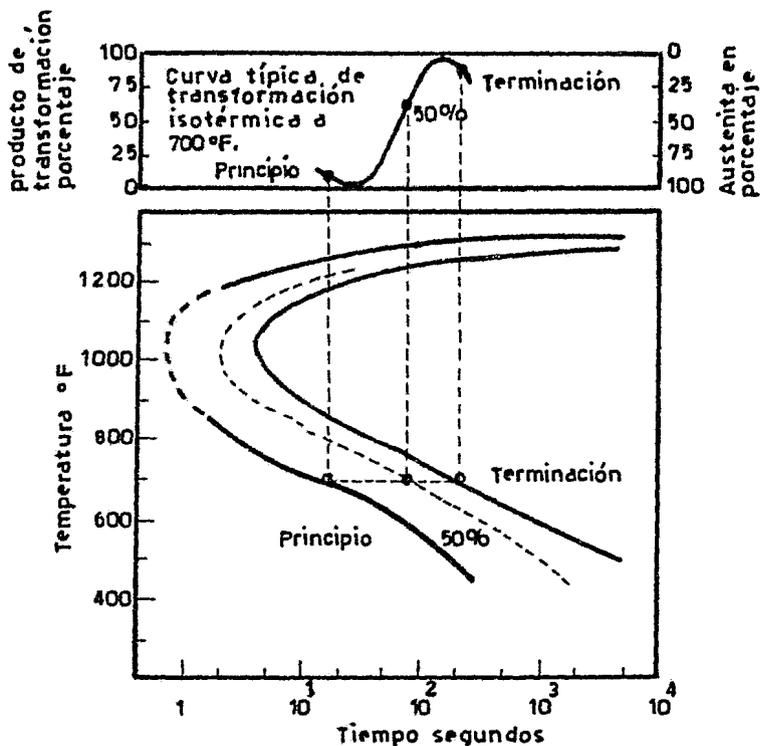


Fig.3 Diagrama que muestra cómo se resumen las mediciones de la transformación isotérmica mediante el diagrama T - t.

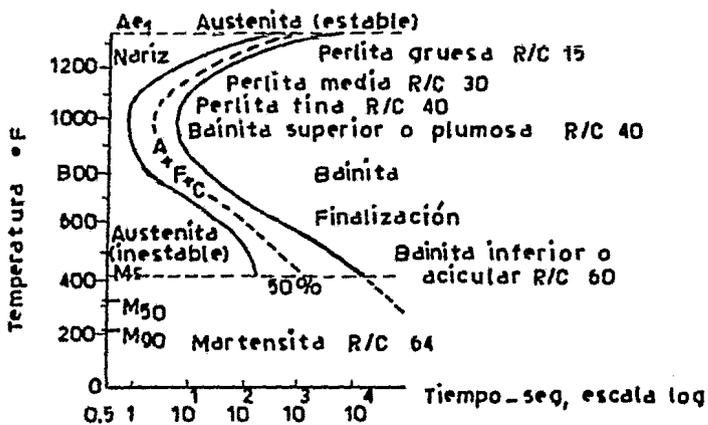


Fig.4 Diagrama de transformación isoterma para un acero 1080 (eutectoide).

La de temperatura señala la temperatura a la que 50 y 90% de la austenita total, al templarse, se habrá transformado a martensita. La figura 5 muestra un ejemplo típico de la transformación de la austenita a martensita, determinada mediante el procedimiento de tratamiento térmico descrito.

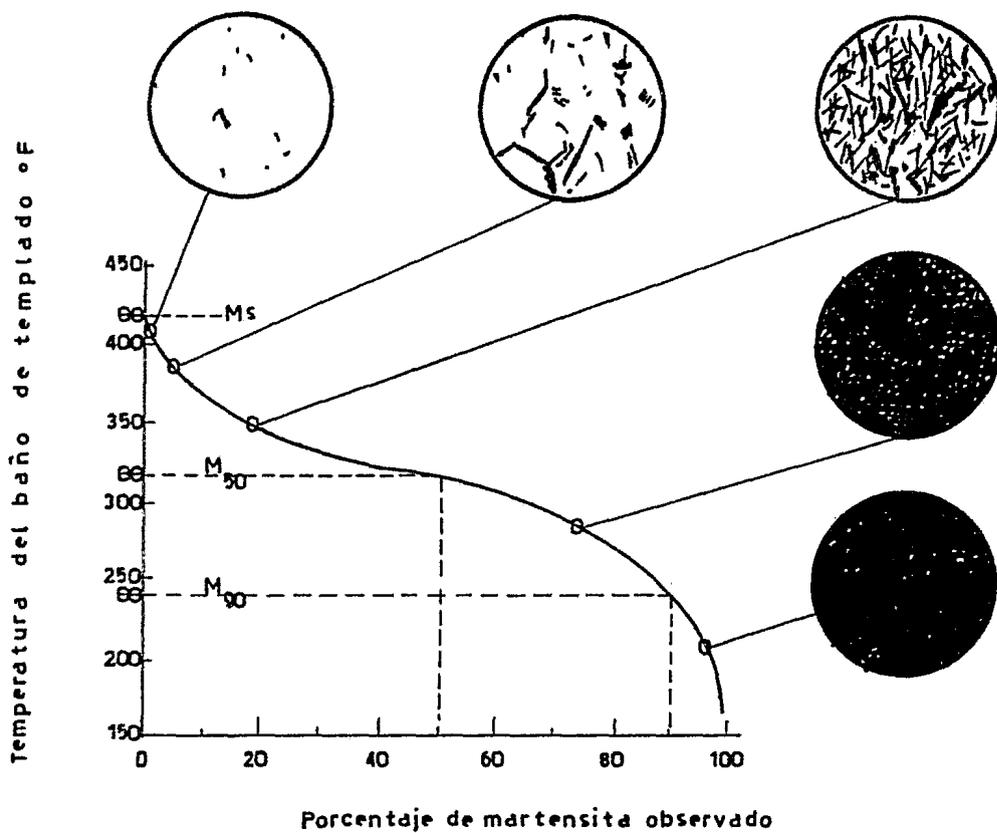


Fig.5 Ejemplo típico de la transformación de austenita a martensita. Microestructuras a 500 x.

METODO DILATOMETRICO

La determinación de la curva "S" de los aceros utilizando el método dilatométrico, se hace en la forma que se explica a continuación.

En la figura 6 se ve una instalación muy simple y muy empleada para estas determinaciones. El ensayo se comienza colocando la probeta del acero que se va a ensayar en el fondo de un tubo de cuarzo, provisto de una abertura lateral para que la transmisión de calor a la probeta de acero se haga rápidamente. Todo el conjunto se introduce luego en un horno vertical, donde se calienta el acero a una temperatura ligeramente superior a la de austenización. Las variaciones de longitud de la probeta se transmiten a un reloj micrométrico por medio de una varilla de cuarzo. Para evitar que el calor llegue al micrométero, se coloca sobre la tapa del horno un anillo refrigerante, circulando agua interiormente. Después de igualadas las temperaturas en la probeta de acero, se saca todo el conjunto y se introduce rápidamente en otro horno, también vertical, donde hay un baño de sales o de plomo fundido, cuya temperatura es precisamente la que se fija para estudiar la transformación de la austenita. Al descender la temperatura, el acero, de acuerdo con las leyes de la dilatación y contracción térmica, se contrae, luego, al cabo de cierto tiempo, se inicia la dilatación de la probeta, que señala el inicio de la transformación de la austenita, que termina al cesar la dilatación.

Registrando el ensayo en un gráfico en el que se señalan dilataciones y tiempos se obtienen curvas parecidas a la de la figura 7 que sirve para conocer para cada temperatura de ensayo, el tiempo necesario para el principio y fin de la transformación.

Preparando otras curvas análogas para diversas temperaturas, se conocerán en cada una de ellas los puntos de comienzo y fin de la transformación que se utilizan para determinar la curva de la "S" de los diferentes tipos de acero.

Las microestructuras de las figuras corresponden a un acero de 0,90% C que ha servido para estudiar la transformación isotérmica de la austenita.

En la figura a todavía no ha comenzado la transformación. La figura b corresponde al comienzo de la transformación de los primeros cristales de perlita que es el producto obtenido al transformarse la austenita a 704°C. En la figura c se ve que al cabo de 19 min y 10 seg, existe ya un 25% de perlita. El fondo blanco sobre el que destaca la perlita es mantensita, que se ha obtenido al enfriarse rápidamente la parte de la austenita que quedaba sin transformar, después de permanecer el acero a 704°C durante 19 min y 10 seg. El avance de la transformación se observa en la figura d y e, y por fin en la figura f se ve que toda la austeni

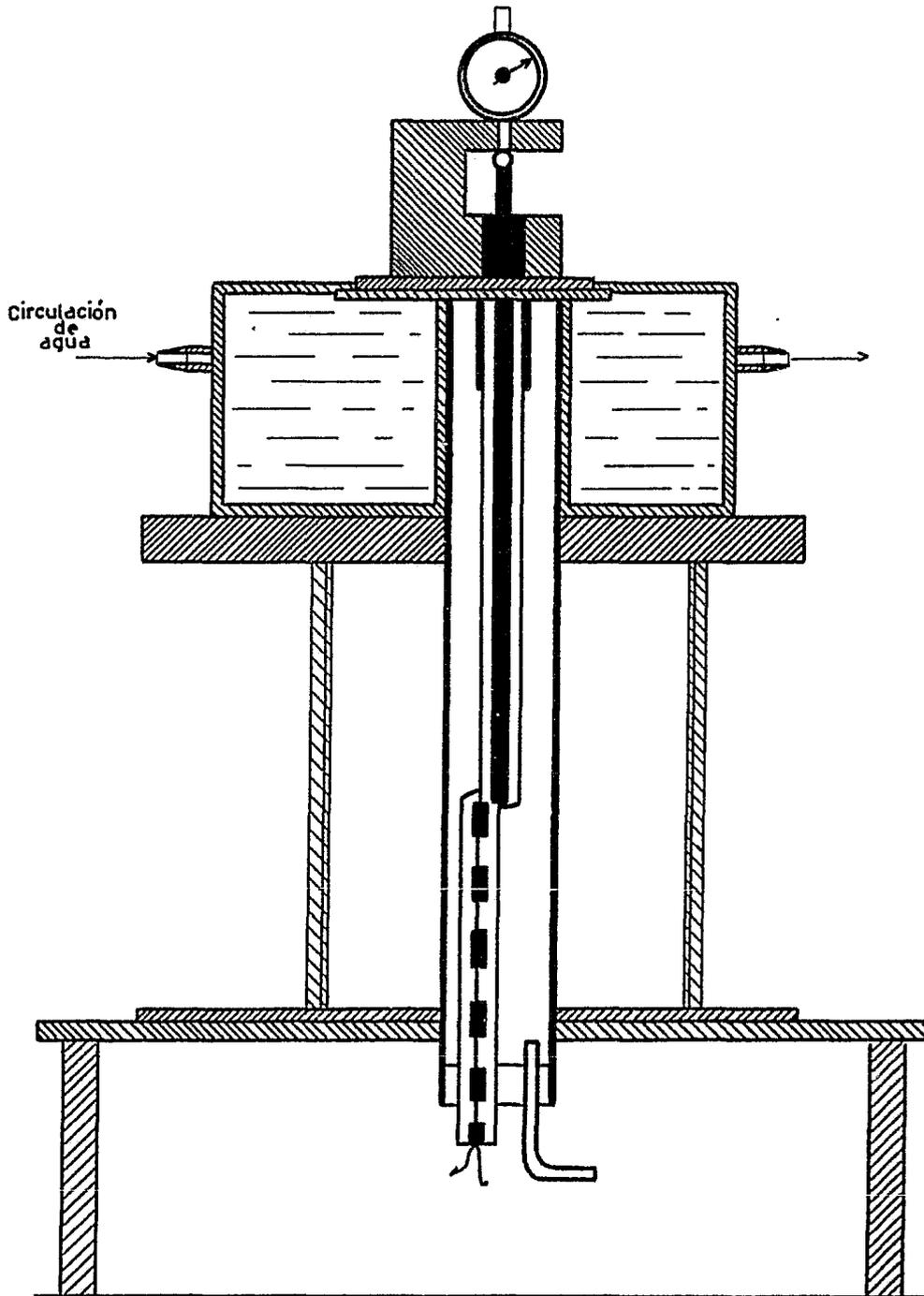


Fig. 6 Montaje del dilatómetro para estudiar la transformación isotérmica de la austenita.

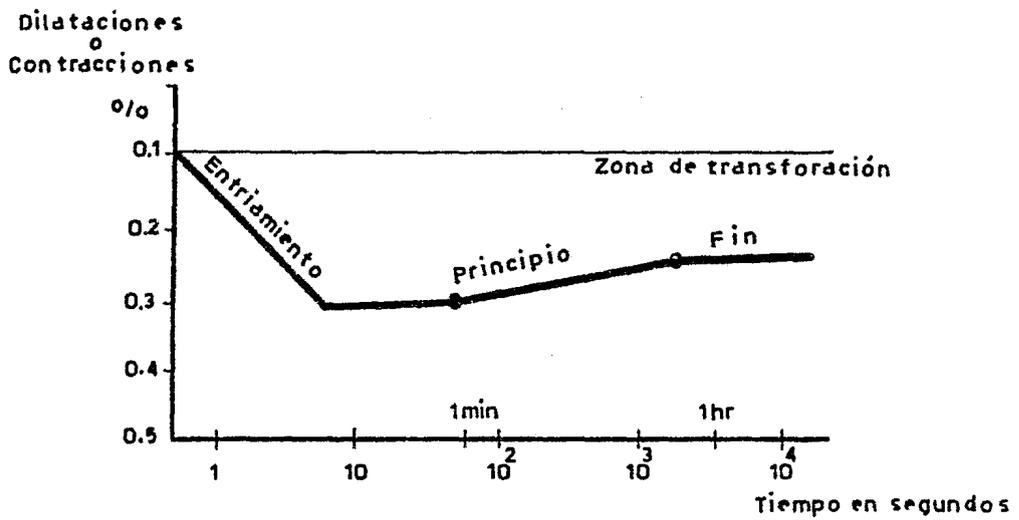


Fig.7 Diagramas dilataciones tiempos para la determinación de las curvas de la "S".

El enfriamiento de la probeta se hizo en baño de sales a 500°C.

ta se ha transformado en perlita al cabo de 66 min y 40 seg. Si se hubiera empleado otra temperatura de ensayo, el proceso sería parecido, pero la duración sería distinta y también diferente la microestructura obtenida al final de la transformación.

Empleando los procedimientos citados anteriormente, se puede determinar para cada temperatura el período de incubación, o sea, el tiempo necesario para que comience a efectuarse la transformación de la austenita y el tiempo que transcurre hasta que la transformación es completa.

Los resultados obtenidos en los ensayos, se llevan sobre un diagrama, en el que en ordenadas se señala la temperatura y en abscisas los tiempos en escala logarítmica. De esta forma se obtienen dos curvas en forma de "S" (figs 8 y 9) de las cuales, la de la izquierda señala para cada temperatura el tiempo que tarda en comenzar la transformación, y la de la derecha el tiempo necesario para que toda la austenita quede transformada en otros constituyentes más estables.

En el diagrama de transformación isotérmico del acero eutectoide, se señala una línea horizontal Ae_1 , que limita la zona de estabilidad de la austenita.

Siempre que el acero se encuentra a una temperatura superior a Ae_1 , puede permanecer indefinidamente a esta temperatura sin que se inicie ningún cambio o transformación. En cambio, si se mantiene el acero a temperaturas inferiores, la austenita comienza a transformarse al cabo de cierto tiempo en otros constituyentes.

METODO METALOGRAFICO DE TEMPLE Y REVENIDO

Para estudiar el avance de la transformación de la austenita en la zona inferior martensítica, no se puede usar el examen metalográfico citado al principio, por que al ser la martensita el producto obtenido en el proceso de transformación que se estudia, no se puede diferenciar esta martensita, de la martensita que se obtiene como consecuencia del rápido enfriamiento final, que se emplea en el citado método metalográfico.

Para hacer esas determinaciones se ha usado mucho el procedimiento dilatométrico, pero recientemente el más empleado es el método "metalográfico de temple y revenido". El procedimiento consiste en tomar probetas muy pequeñas de $1 \times 1 \times 6,4$ [mm] del acero a ensayar, que se calientan a temperaturas superiores a la crítica y se introducen rápidamente en un baño caliente a la temperatura de ensayo, manteniendo el acero a esa temperatura sólo el tiempo necesario para que alcance la temperatura del baño. No hace falta prolongar la permanencia, porque la transformación es casi instantánea (la austenita se transforma en martensita casi instantáneamente).

La probeta, cuya microestructura estará entonces formada por martensita y austenita sin transformar, se pasa a otro baño que estará a más alta temperatura para efectuar el revenido. La duración y temperatura de esta etapa están limitados por dos condiciones: 1^a. que la martensita obtenida se oscurezca suficientemente por la acción del revenido, y 2^a. que la austenita, que está todavía sin transformar, no sufra ninguna transformación. Luego, desde esta temperatura, las probetas son enfriadas en agua. Como el revenido oscurece el producto transformado, puede distinguirse fácilmente la austenita que estaba antes sin transformar y que después del enfriamiento en agua se transforma en martensita, que será muy poco atacada y quedará casi blanca. En el caso de que el porcentaje de producto transformado no se aprecie claramente en el examen microscópico, la determinación del avance de la transformación de la austenita se puede efectuar empleando los rayos X.

CONSTITUYENTES MICROSCOPICOS EN LAS TRANSFORMACIONES ISOTERMICAS

Comenzaremos el estudio de las características de los constituyentes que aparecen en estas transformaciones señalando en los diagramas isotérmicos de acuerdo con la teoría de H. Jolivet tres zonas principales: la superior, la intermedia y la inferior, caracterizada cada una de ellas por la forma de efectuarse la transformación. [En algunos aceros aleados, estas zonas se marcan también muy claramente, porque quedan separadas entre sí por franjas de relativa estabilidad de la austenita].

La primera zona se halla en el diagrama, justo debajo de la línea Ae_1 ; la inferior corresponde a la zona de formación de martensita, y la intermedia se halla en el intervalo comprendido entre las dos citadas anteriormente.

En la zona superior y probablemente también en la intermedia, los cristales que aparecen como consecuencia de la transformación de la austenita nacen y se desarrollan por formación de núcleos y posterior crecimiento de los mismos. Los gérmenes de cristalización brotan generalmente en los contornos de los cristales de austenita (fig 10), ejerciendo las velocidades de nucleación y de crecimiento gran influencia en el proceso de formación de nuevas estructuras. En la zona superior perlítica por ser la velocidad de nucleación o germinación lenta y la de crecimiento rápida, aparecen pocos cristales, que además de estructura gruesa no son duros. En cambio, en la zona de la nariz de la "S", por ser la velocidad de nucleación muy rápida y la de crecimiento relativamente pequeña en relación con esta última, aparecen numerosos cristales poco desarrollados y muy finos.

En los aceros eutectoides la transformación de la austenita se inicia en las zonas superiores con la formación de núcleos o centro de cristalización (de ferrita o cementita), que sirven de base para el desarrollo y crecimiento de las nuevas estructuras; los constituyentes que se forman en ambas zonas, se diferencian entre sí porque en la zona superior los primeros núcleos o centros de cristalización que se forman son de cementita y en la segunda son de ferrita.

TRANSFORMACION A PERLITA Y BAINITA

Al observar de nuevo la figura 4, se ve que el producto de transformación por encima de la región de la nariz es perlita.

La microestructura de perlita es la estructura laminar característica de capas alternas de ferrita y cementita, por debajo de la línea Ae_1 se forma perlita laminar gruesa con una dureza Rockwell C-15 aproximada. Conforme la temperatura de transformación disminuye, la estructura laminar característica se mantiene; el incremento en la separación de las capas de ferrita y carburo disminuye progresivamente hasta la separación de las capas, no pudiéndose resolver con el microscopio óptico.

Conforme la temperatura de transformación y la fineza de la perlita disminuye, es obvio que la dureza aumentará.

Como se explicó, bajo normalización este incremento de dureza es el resultado de disminuir la separación entre placas de constitución dura, cementita, dentro de la matriz de ferrita blanda.

ZONA SUPERIOR [ESTRUCTURAS LAMINARES]

Perlita. _ El espesor de las láminas de la perlita es tanto mayor cuanto más elevada es la temperatura de transformación, disminuyendo su distancia interlaminar aumentando la dureza y haciéndose la estructura cada vez más fina al descender la temperatura de formación (fig 11).

Si la transformación se verifica a temperaturas inferiores, pero muy próximas a Ae_1 , como la duración de la transformación es muy larga, la cementita no adopta la clásica disposición laminar, sino que se presenta en forma globular sobre todo si se ha empleado temperaturas de austenización muy próximas al punto $Ac321$.

Sorbita y troostita (constituyentes laminares). _ Aparecen a temperaturas inferiores a las de la perlita, y aunque también están formadas por láminas alternadas de cementita y de ferrita, sus estructuras son mucho más finas que las de la perlita, tanto que sólo en algunos casos y con grandes ampliaciones se pueden distinguir las láminas que la componen. El crecimiento de la troostita es nodular, presentando una estructura característica dirigida hacia el centro de cristalización, estando formada algunas veces por zonas radiales, en las cuales las láminas son paralelas, o por láminas orientadas radialmente desde el centro de los nódulos.

ESTRUCTURAS GRANULARES

Las estructuras granulares son poco importantes, apareciendo general _



Fig. 10 Nacimiento de cristales de tipo perlítico en los contornos de los primitivos cristales de austenita en un acero eutectoide. amplexión 75x.

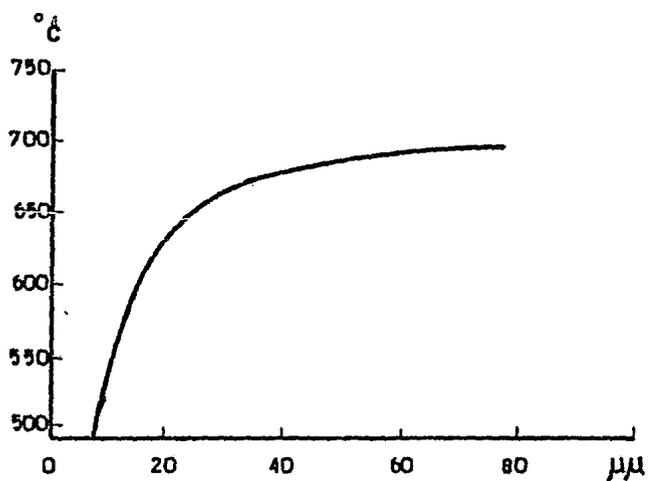


Fig. 11 Variación de la distancia interlaminar de la perlita en función de su temperatura de formación.

mente a temperaturas muy próximas a la nariz perlítica de la "S" y son tan parecidas a la troostita, que con frecuencia se confunden, a pesar de que su estructura interna es muy diferente.

En general, son difíciles de encontrar y no se presentan más que raras veces en la estructuras de los aceros.

Aparecen claras y bien definidas únicamente en algunos aceros eutectoides e hipereutectoides, al efectuarse la transformación en la parte inferior de la primera zona. Estas estructuras son poco importantes.

En algunos aceros las durezas de estos constituyentes suelen ser ligeramente inferiores a las de las estructuras perlíticas finas, formadas a temperaturas un poco más elevadas.

Nodular. _ Este es el tipo de estructura granular que aparece a temperaturas más elevadas. Se presenta en forma de nódulos de superficie convexa, que puede considerarse como una evolución de los nódulos de troostita laminar, de la que, sin embargo, se diferencia por que su estructura interna es del tipo granular.

Se observa que la superficie de los nódulos o al menos ciertas regiones, son más fáciles de colorear por el ataque con reactivos ácidos que la troostita. Con muchos aumentos se puede apreciar en su interior finísimos glóbulos de cementita, que son fácilmente atacados por los reactivos ácidos.

Arborescentes. _ Cuando la temperatura de transformación es un poco más baja, la estructura de los glóbulos es más fina y más coloreable por los reactivos del ataque. Al mismo tiempo, el contorno convexo de la estructura nodular es remplazado por formaciones orientadas con entrantes y salientes.

Por su aspecto arborescente, recuerda las dendritas formadas en los lingotes de acero en proceso de solidificación.

Acicular. _ A temperatura todavía más bajas, los gránulos de cementita se desarrollan acicularmente en la dirección de los planos cristalográficos de la austenita, adoptando un aspecto muy parecido al de las estructuras Widmanstätten.

FERRITA

En los aceros hipoeutectoides la transformación de la austenita se inicia por germinación y crecimiento de cristales de ferrita. En general, la cantidad de ferrita proeutectoide obtenida decrece al disminuir la temperatura de transformación y llega a casi cero en la nariz, lo cual equivale a decir que las

estructuras laminares formadas a baja temperatura contienen menos porcentaje de carbono que las formadas a temperatura más elevada. El crecimiento y desarrollo de los constituyentes en estos aceros es más complejo que en los eutectoides y se presentan dos procesos de formación diferente. A temperaturas próximas a Ae_3 , los cristales de ferrita nacen, como hemos explicado anteriormente, en los bordes de los antiguos cristales de austenita y luego se ensanchan y se desarrollan a lo largo de las uniones de los granos.

Cuando la austenita se transforma a la temperatura más baja, el número de cristales de ferrita aumentan y su tamaño disminuye, y aunque siempre el crecimiento y desarrollo de los cristales se efectúa principalmente en la dirección de los planos cristalográficos, cuando la temperatura de transformación es próxima a la nariz de la perlita, se pueden ver también algunos cristales de ferrita dirigidos y orientados hacia el centro de los primitivos cristales de austenita.

ZONA INTERMEDIA

El constituyente característico de esta zona es la bainita. Al principio, esta denominación se hizo extensiva a cualquier constituyente formado a temperaturas comprendidas entre 600° y $250^\circ C$, pero en la actualidad se agrupa a todos los constituyentes que aparecen en esa zona bajo la denominación de estructuras intermedias. Se llama bainita superior a la formada de 600° a 450° aproximadamente, y bainita inferior a la que se forma a más baja temperatura entre 250° a $450^\circ C$, que tiene aspecto acicular más marcado y es más fina.

Constituyente X. _ Es un constituyente muy poco importante que a veces se observa en la zona de temperaturas de formación de bainita. Davenport le dio ese nombre y está formada por agujas de ferrita. Se presenta en algunos aceros en los que la transformación de la austenita en la zona de la nariz de la bainita se inicia con la precipitación de cristales de ferrita, que presentan un aspecto marcadamente acicular muy semejante a la estructura Widmanstätten en los aceros en bruto o colada.

Bainita superior. _ Esta constituida por una serie de agujas de ferrita y cementita paralelas, de contorno más o menos arborescente.

Las agujas de ferrita actúan como centros de cristalización, desarrollándose junto a ellas y paralelamente otra serie de agujas separadas entre sí por un borde de cementita.

Bainita inferior.... Al descender la temperatura de transformación de la austenita, se inicia en el contorno de la bainita una evolución desde el tipo arborescente al acicular. La estructura también se modifica gradualmente y llega a ser tan fina que no se puede apreciar más que con grandes aumentos. El aspecto acicular de las agujas se acetntúa, decrece su tamaño y tiende a desarrollarse únicamente en determinadas direcciones.

ZONA INFERIOR

Cuando la austenita en el enfriamiento llega a una cierta temperatura que depende de la composición del acero y que generalmente se encuentra en la zona de 350° a 50°C, se inicia la transformación en martensita.

El proceso de formación de las agujas de martensita es completamente distinto de los citados anteriormente. Es casi instantáneo y no existen periodos de nucleación y crecimiento. Hay un rapidísimo cambio de disposición de los planos atómicos de la austenita, transformándose la retícula cubica de caras centradas del hierro gamma, en martensita de retícula tetragonal de cuerpo centrado, que contiene pequeñas cantidades de carbono en los espacios intersticiales.

CURVAS DE ENFRIAMIENTO Y EL DIAGRAMA T-I

Una curva de enfriamiento se determina experimentalmente colocando un termopar en un lugar definido en una muestra de acero y luego midiendo la variación de la temperatura con el tiempo.

Como las coordenadas del diagrama T-I son las mismas que para una curva de enfriamiento, es posible sobreponer varias curvas de enfriamiento en el diagrama T-I, esto se hizo en la figura 12.

La curva de enfriamiento 1 muestra una rapidez de enfriamiento muy lenta, típica del recocido convencional. El diagrama indica que el material permanecerá austenítico por un periodo relativamente largo. La transformación empezará cuando la curva de enfriamiento cruce el principio de la transformación en el punto x_1 . El producto de la transformación a esa temperatura será perlita muy gruesa y la transformación continuará hasta el punto x'_1 . Como hay una ligera diferencia en temperatura entre el principio y el fin de la transformación, también habrá una ligera diferencia en la finura de la perlita gruesa con un bajo grado de dureza. Por debajo de la temperatura x'_1 , la rapidez de enfriamiento no tendrá efecto en la microestructura o en las propiedades.

El material puede enfriarse ahora rápidamente sin que haya cambio alguno, lo cual es de gran valor para las compañías que ejecutan el recocido a nivel comercial, ya que el diagrama indica que no es necesario enfriar el horno a temperatura ambiente, sino que el material puede extraerse a una temperatura relativamente más alta después de la transformación y enfriarse en el aire.

La curva de enfriamiento 2 ilustra "un ciclo de recocido" o "isotérmico" y se diseñó directamente el diagrama T-I.

El proceso se lleva a cabo enfriando el material rápidamente desde arriba del intervalo crítico hasta una temperatura predeterminada de la porción superior del diagrama T-I y manteniéndolo durante el tiempo indicado para producir la transformación completa. En contraste con el recocido convencional, este tratamiento produce una microestructura y dureza más uniformes, en muchos casos con un ciclo más corto.

La curva de enfriamiento 3 está a una rapidez de enfriamiento mayor que la del recocido y puede considerarse típica de la normalización. El diagrama indica que la transformación empezará en el punto x_3 , como la formación de la perlita gruesa, en un tiempo más corto que el del recocido. La transformación estará completa en x'_3 al formarse la perlita media. Como existe una diferencia de temperatura mayor entre x_3 y x'_3 de la que hay entre x_1 y x'_1 la microestructura normalizada mostrará mayor variación en la finura de la perlita y menor proporción de la perlita gruesa que la microestructura recocida.

La curva de enfriamiento 4, típica de un temple lento en aceite, es parecida a la descrita en las líneas anteriores, y la microestructura será una mezcla de perlita media y fina.

La curva de enfriamiento 5, típica de una rapidez intermedia de enfriamiento empezará a transformarse (en x'_5) a perlita fina en un tiempo relativamente corto.

La transformación a perlita fina continuará hasta que la curva sea tangente a algún porcentaje transformado por ejemplo, 25%, en x'_5 . Por debajo de esta temperatura, la curva de enfriamiento irá en una dirección de disminución de porcentaje transformado. Como la perlita no puede formar austenita al enfriarse, la transformación deberá detenerse en x'_5 . La microestructura en este punto consistirá de 25% de perlita fina nodular que rodea ampliamente los granos austeníticos existentes. Se mantendrá en esta condición hasta que la línea Ms se cruce en x''_5 .

La austenita restante se transforma ahora en martensita. La microestructura final a temperatura ambiente consistirá en 75% de martensita (áreas blancas) y 25% de perlita fina nodular ampliamente concentrada a lo largo de las fronteras originales de grano de austenita. Si sólo hay una pequeña cantidad de perlita, los nodulos de perlita que toman un color negro debido al ataque químico y resaltan en la blanca matriz martensítica, revelen exactamente el tamaño de grano austenítico inicial cuando tuvo lugar la transformación a perlita.

La curva de enfriamiento 6, típica de un temple drástico, es suficientemente rápida para evitar la transformación en la región de la nariz. Se conserva austenítica hasta que las líneas Ms y Mf lo tocan. La microestructura final será enteramente martensita con alto grado de dureza.

Obviamente, para obtener una estructura por completo martensítica, es necesario evitar la transformación en la región de la nariz. Por tanto, la curva de enfriamiento 7, que es tangente a la nariz, sería la rapidez crítica de enfriamiento aproximada (REC) para estos aceros. Cualquier rapidez de enfriamiento menor que la indicada cortará la curva arriba de la nariz y formará algún producto de transformación más blando, en tanto que cualquier rapidez de enfriamiento mayor que la ilustrada formará solo martensita. Con base en sus rapidades críticas de enfriamiento se pueden comparar diferentes aceros.

Nótese que es posible formar 100% de perlita o 100% de martensita mediante un enfriamiento continuo, pero no es posible formar 100% de bainita. Una estructura bainítica completa puede formarse sólo mediante un enfriamiento suficientemente rápido para pasar por alto la nariz de la curva y luego mantenerla en el intervalo de temperatura en el que se forma la bainita, hasta que se termina la transformación.

Esto se ve en la figura 18, por la curva de enfriamiento 6 y luego por

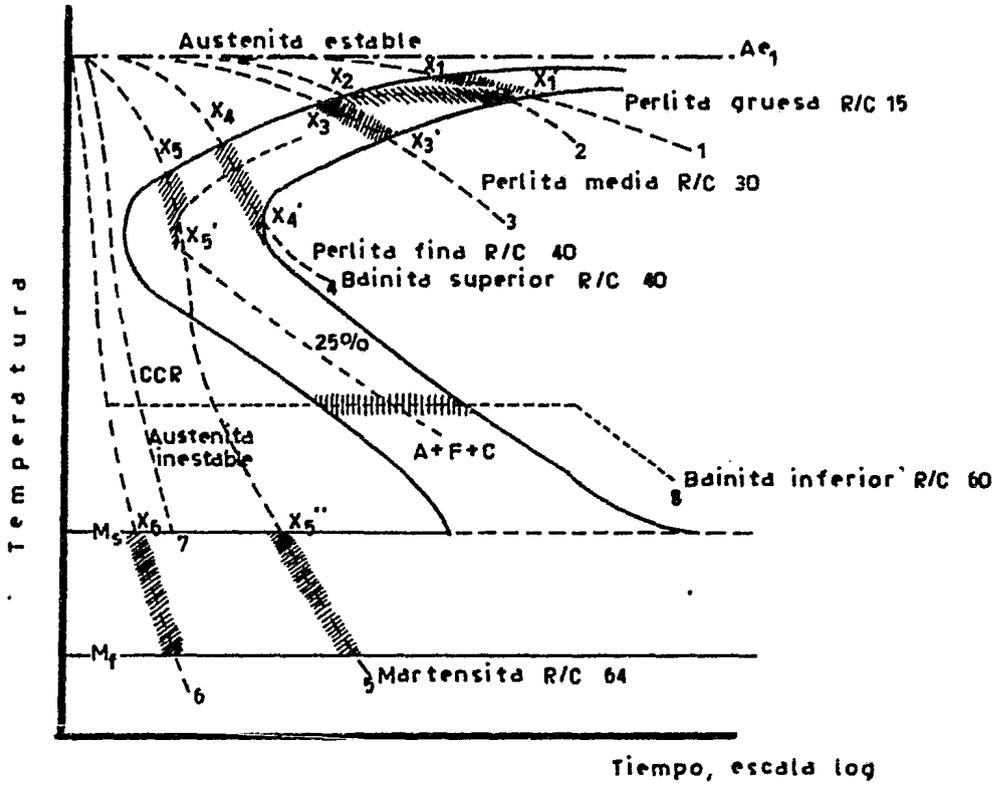


Fig.12 Curvas de enfriamiento superpuestas en un diagrama hipotético T-I para un acero eutectoide. La porción hachurada de la curva de enfriamiento indica la transformación.

la 8. Obviamente, las muestras de acero enfriadas de manera continua contendrán solo pequeñas cantidades de bainita, y probablemente por esta razón dicha estructura se reconoció hasta que se realizó el estudio isotérmico

POSICION DE LAS CURVAS T-I

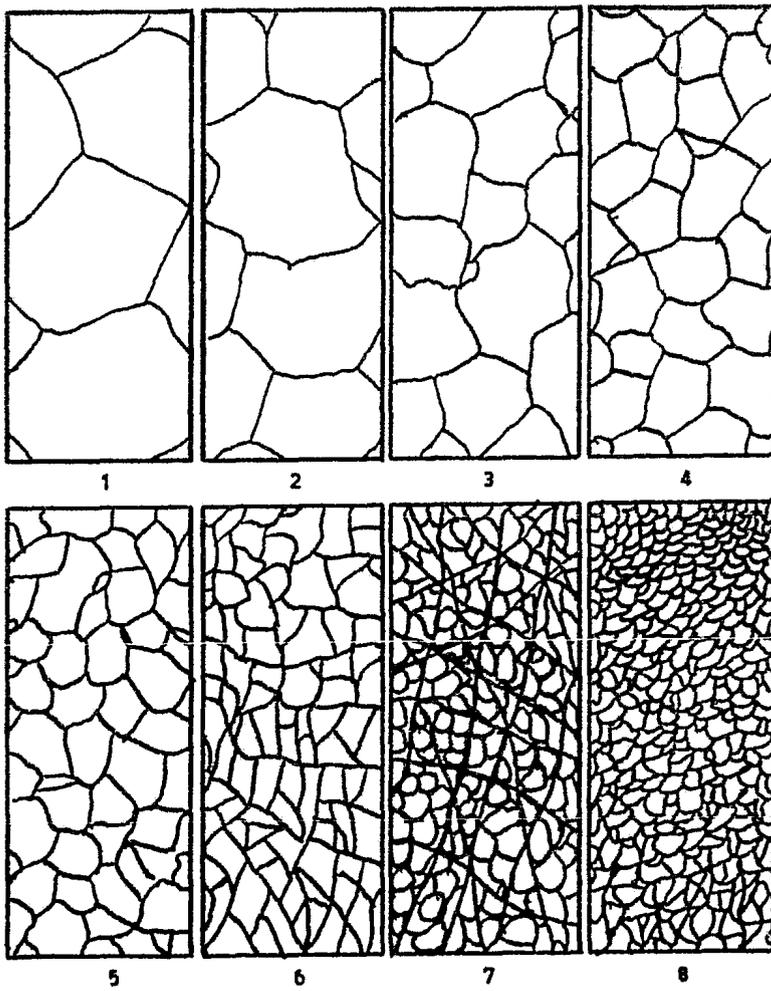
Sólo hay dos factores que cambiarán la posición de las curvas del diagrama T-I, a saber: la composición química y el tamaño de grano austenítico. Con algunas excepciones, un incremento en el contenido de carbono, en el contenido de la aleación o en el tamaño de grano de la austenita siempre retarda la transformación (mueve las curvas hacia la derecha), por lo menos a temperaturas superiores a la de la región de la nariz. A su vez, ésta entorpece la rapidez crítica de enfriamiento, haciendo más fácil la formación de martensita. Este retardo también se refleja en la mayor capacidad de endurecimiento, o sea la profundidad de penetración de dureza, de un acero con mayor contenido de aleación o tamaño de grano austenítico más grande.

El efecto de aumentar el contenido de carbono puede verse al consultar las figuras 15 y 16. La primera demuestra el diagrama T-I de un acero 1035. La temperatura M_s es aproximadamente de 399°C . Como este es un acero hipoeutectoide nótese la presencia de la región austenita a ferrita. La nariz de la curva no es visible, lo cual indica que es muy difícil enfriar este acero con la suficiente rapidez para obtener sólo martensita. La microestructura de un acero de bajo carbono templado en agua muestra una red de ferrita blanca que rodea las áreas grises de martensita de bajo carbono. La figura 16 muestra el diagrama T-I para un acero 1050. El incremento en el contenido de carbono ha cambiado la curva, alejándola lo suficiente a la derecha para hacer que la nariz sea apenas visible y la temperatura M_s se ha reducido a 327°C . En teoría, para formar sólo martensita, es necesario enfriar lo suficientemente rápido para alcanzar 538°C en 0.7 seg aproximadamente.

Nótese que la región A+F se ha hecho mucho más angosta y se desaparecen en la vecindad de la nariz. La microestructura de un acero de medio carbono templado en agua muestra áreas oscuras de perlita fina que parecen delinear algunas de las previas fronteras de grano de austenita, alguna bainita plumosa oscura, y sustancialmente más martensita, como la matriz que apareció en el acero de bajo carbono.

Aunque la adición de aleación tiende en general a retrasar el principio de la transformación y a incrementar el tiempo para su terminación, difieren mucho tanto en la magnitud como en la naturaleza de su efecto. La figura 17 muestra el diagrama T-I de un acero al manganeso 1335. La comparación de este diagrama con la figura 15 indica que la adición de 1.50% de manganeso ha cambiado la curva entera a la derecha.

La nariz de la curva es visible ahora y debe endurecer completamente es



Dimensiones unificadas del grano según las Normas soviéticas (aumentado 100 veces).

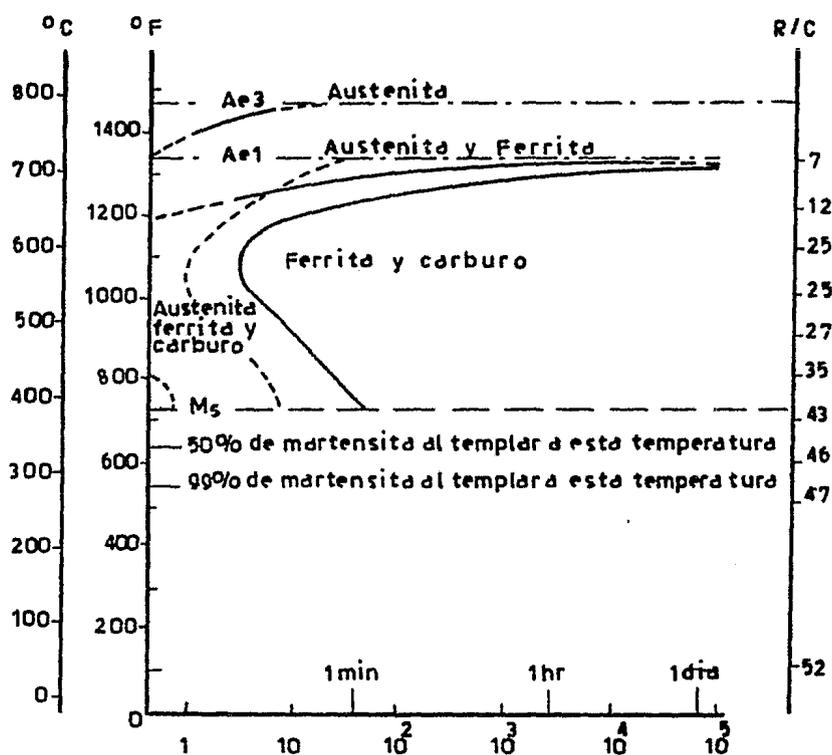


Fig. 15 Diagrama T-T de un acero 1035: 0.35% C, 0.37% Mn. Tamaño del grano: 75% de 2 a 3; 25% de 7 a 8. Austenizado a 843°C.

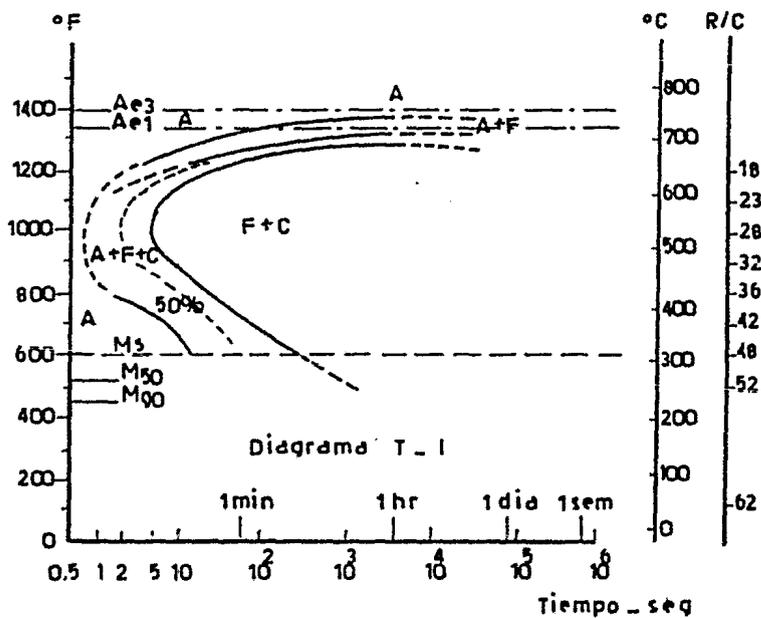


Fig. 16 Diagrama T-T de un acero 1050: 0.50% C, 0.01% Mn. Tamaño de grano: de 7 a 8; austenizado a 910 °C.

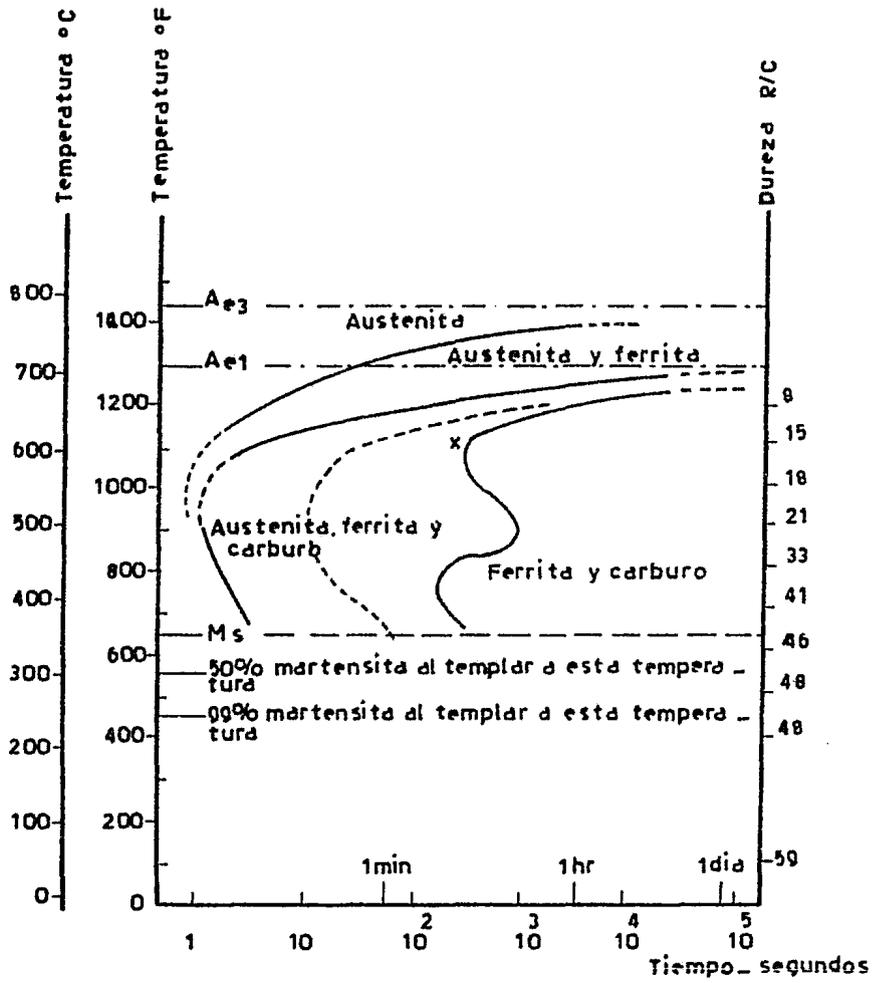


Fig.17 Diagrama T-T de un acero 1335. D. 0.35% C, 1.85% Mn. Tamaño del grano: 70%, 7; 30%, 2. Austenizado a 843 °C.

te acero con más facilidad que el acero al carbono. Nótese que la línea de terminación de la transformación muestra ahora una forma S. En el punto en que hay un tiempo mínimo pronunciado en la línea de terminación a temperatura relativamente alta, es posible sacar ventaja de este mínimo para diseñar un ciclo corto de recocido. En este diagrama, el mínimo superior (punto x) es de aproximadamente 5 min a 593°C para el final de la transformación, en tanto que a 649°C el final de la transformación es de aproximadamente 1hr. Por tanto, el recocido isotérmico a 593°C se completaría en un tiempo relativamente corto.

Los elementos que forman carburos, tales como el cromo y el molibdeno, aún en pequeños porcentajes, son la causa de que en algunos diagramas aparecen dos narices: una correspondiente a la transformación perlítica y otra bainítica (figura 19).

En estos aceros hay que considerar dos zonas de templabilidad: la perlítica y la bainítica, pudiendo ser una u otra la que señala la velocidad crítica del temple, que, en definitiva, dependerá de la situación relativa de las narices de las curvas correspondientes a esas estructuras.

Esto ocurre por que estos elementos de aleación actúan más intensamente en las regiones perlíticas que en las bainíticas de la curva de la "S", desplazándose más o menos hacia la derecha según los casos. Así, por ejemplo, mientras la influencia del manganeso es casi la misma en ambas zonas, la acción del molibdeno es aproximadamente 10,000 veces más intensa para retrasar la zona de la perlita que la de la bainita.

La figura 18 representa el diagrama de un acero de 0,33%C, 0,45%Mn y 1,97%Cr. Por comparación con el acero al carbono de la figura 20, se ve que la adición de 1,97% de cromo, no sólo ha desplazado la curva hacia la derecha, sino que la forma de la curva también ha cambiado. El tiempo para la completa transformación ha aumentado extraordinariamente en la región de temperaturas correspondientes a la sorbita y bainita superior, y en cambio el aumento es sensible en la región de formación de la bainita inferior.

Los diagramas de los aceros aleados son bastante complejos, como lo es también el mecanismo de las reacciones de transformación. En algunos de ellos se observa que la estructura perlítica se forma por encima, y por debajo de la nariz perlítica (fig 18), lo cual no ocurre en los aceros al carbono y aleados con níquel y manganeso, en los que la perlita sólo se forma a temperaturas superiores a la nariz.

En algunos aceros hipoeutectoides aleados se presenta también la anomalía de que la ferrita se forma también por encima y por debajo de la nariz de la perlita, llegando a presentar nariz propia (fig 19). Este fenómeno de la nariz de ferrita se suele presentar en los aceros al cromo.

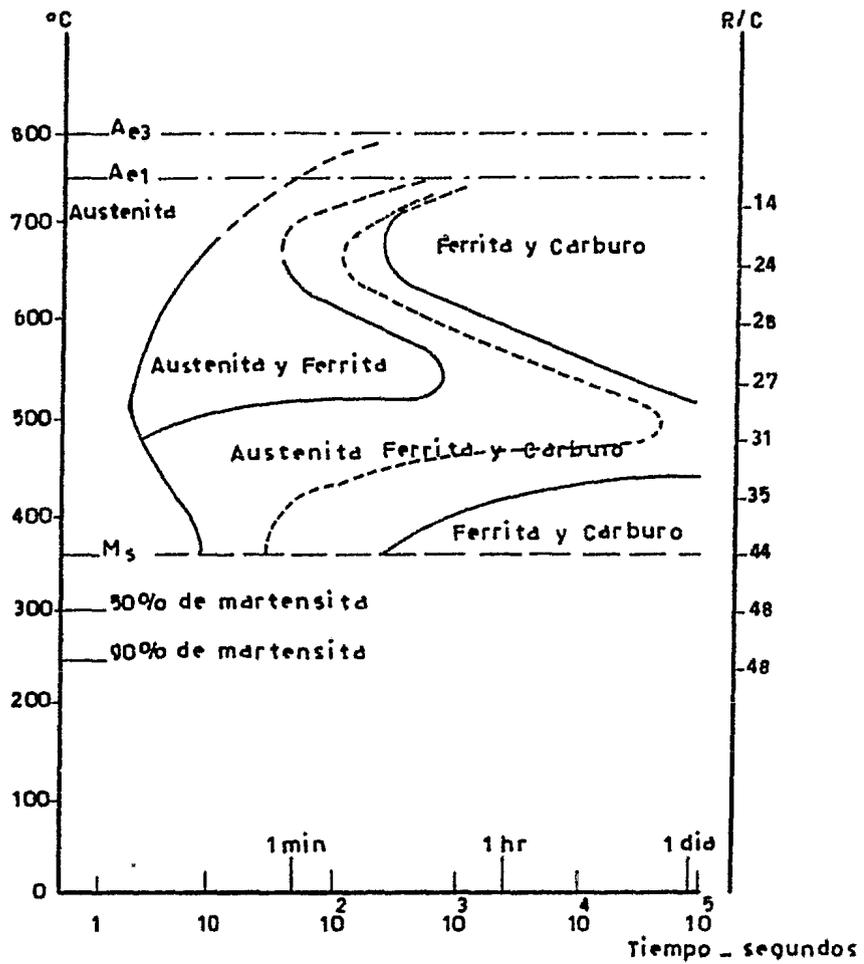


Fig.18 Curva de la "S" de un acero 0.33% C, 0.45% Mn y 1.97% Cr. Temperatura de austenización 875°C. Grano fino (N° 6 - 7).

La figura 19 representa el diagrama de la "S" de un acero cromo - níquel - molibdeno de: 0,41%C; 0,61%Mn; 0,68%Cr; 1,80%Ni; 0,25%Mo. Se observará que aunque el contenido de elementos de aleación es pequeña, la curva ha sido desplazada hacia la derecha, más todavía que para el acero de 1,97%Cr.

Aunque el manganeso y el níquel ejercen en cierto modo un efecto parecido, se diferencian en que el comienzo de formación de martensita Ms se encuentra en los aceros al níquel a más alta temperatura que en los aceros al manganeso.

Eso es una ventaja y por ello en gran parte hay menos peligro de agrietamiento y son tan solicitados los aceros al níquel. Al formarse la martensita a alta temperatura, cuando el acero tiene todavía cierta plasticidad, hay menos peligro de grietas que si se forma a baja temperatura cuando el acero es poco deformable y más frágil.

El cromo tiene una gran tendencia a retardar las transformaciones en la zona de 400°C a 600°C mucho más que otras zonas. El molibdeno actúa en forma parecida pudiéndose decir que en general todos los elementos formadores de carburos tienden a desplazar la situación de la curva hacia la derecha.

Estos elementos tienden a elevar las zonas de transformación perlítica y tienden a descender las temperaturas correspondientes a las transformaciones intermedias. Por eso en los aceros cromo - molibdeno suele existir una zona de estabilidad hacia los 500°C.

En los aceros al cromo las transformaciones intermedias suelen producir bastante más rápidamente que en los aceros con molibdeno.

La figura 21 muestra el efecto de retardo de la rapidez crítica de enfriamiento al hacer más grueso el tamaño de grano de la austenita. Los números que indican el tamaño de grano se relacionan con el número de granos en una área unitaria, de manera que cuanto más grande sea el número, más fino será el tamaño de grano.

Nótese el cambio considerable de las curvas a la derecha por la mayor temperatura de austenización y el tamaño grueso de grano austenítico resultante.

Para resumir, hay sólo dos formas para disminuir la rapidez crítica de enfriamiento que desplazan al diagrama T-I a la derecha: a) aumentando la cantidad de carbono, b) haciendo más grueso el tamaño de grano austenítico. En tanto que la adición de elementos de aleación no afecta la dureza máxima obtenible del acero, cuya propiedad es controlada sólo por el contenido de carbono, lo hacen mucho más fácil de endurecer completamente al acero. Un acero al carbono puro tiene que templarse en agua para obtener una dureza total, mientras que el mismo acero puede avanzar cuando se alea, la misma dureza y endurecerse a mayor profundidad, aun cuando se enfríe más lentamente por medio del templado en aceite. El

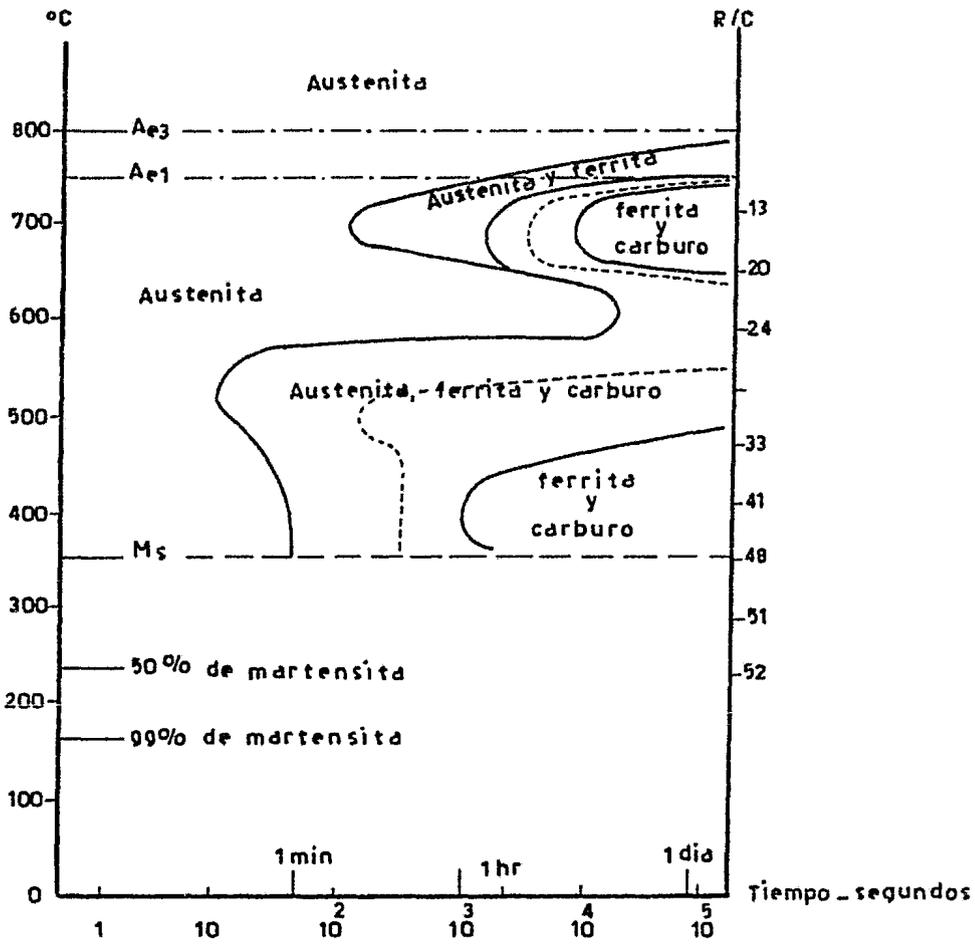


Fig. 10. Curva de la "S" de un acero de: 0.41% C; 0.61% Mn; 0.68% Cr; 1.80% Ni; 0.25% Mo. Temperatura de austenización, 850 °C. Grano fino (N° 7 - 8).

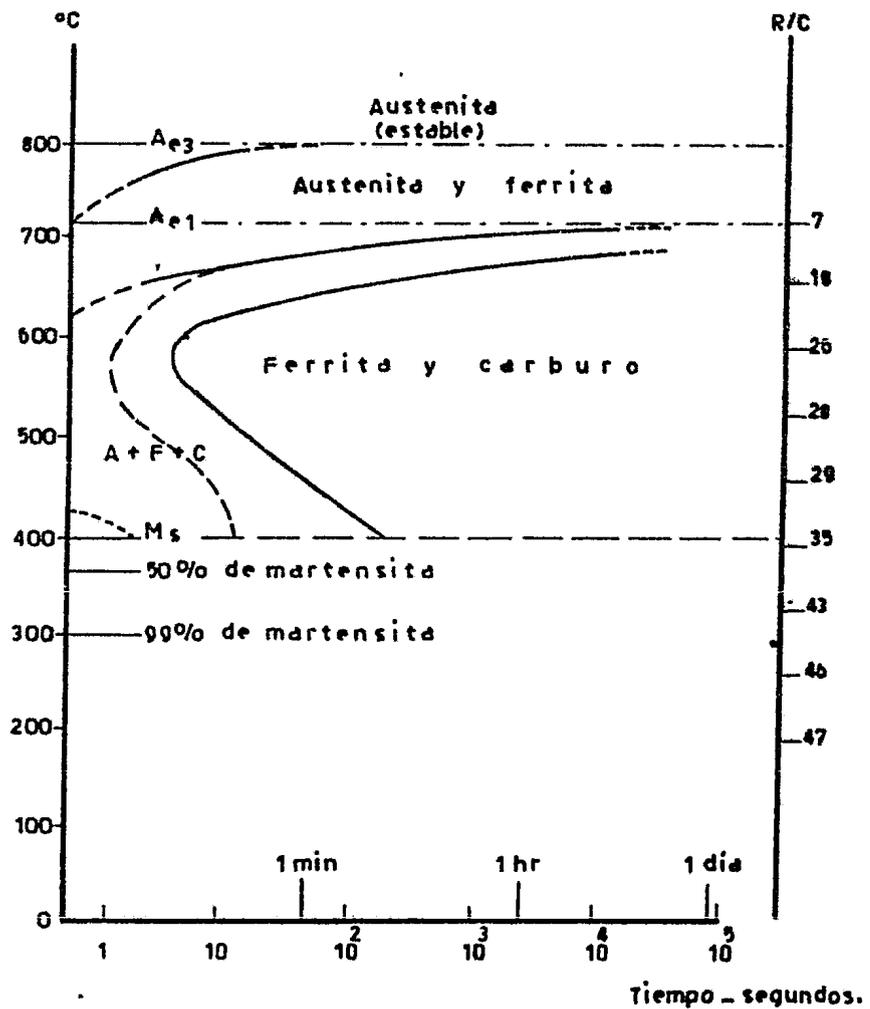


Fig. 20. Curva de la "S" de un acero de 0,35% C y 0,37% Mn. Temperatura de austenización 850°C. Grano mixto (N° 2-3 (75%), N° 7-8 (25%)).

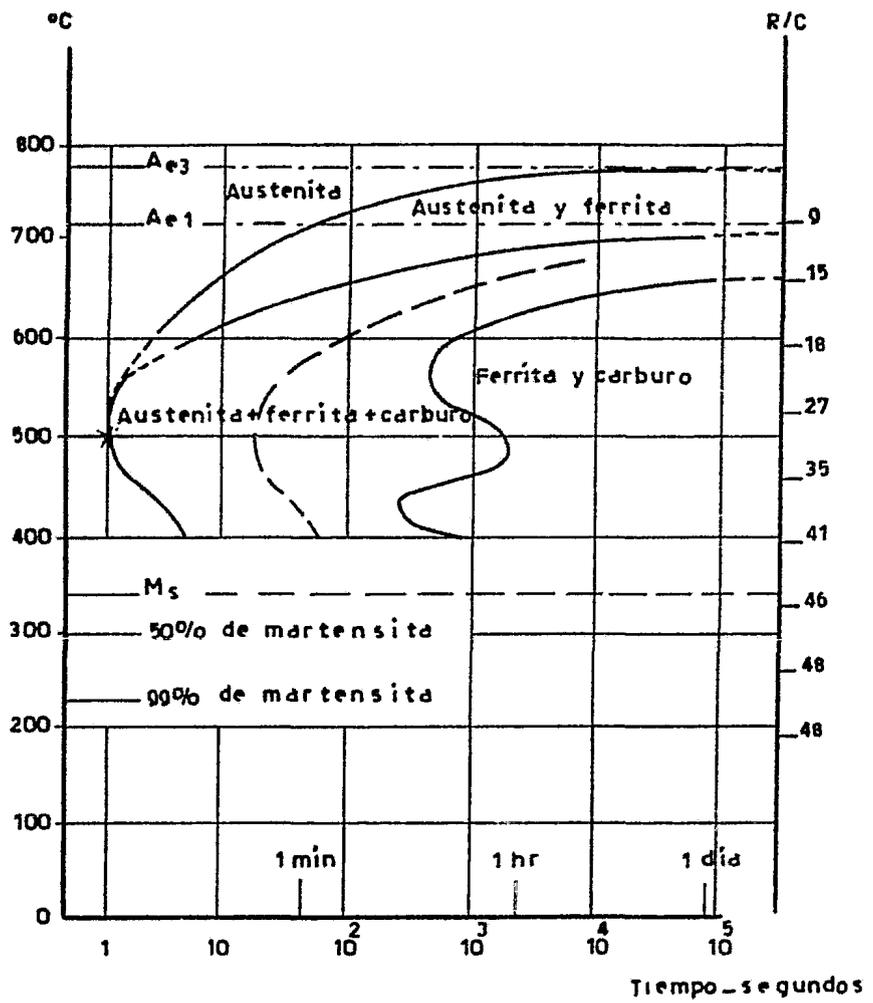


Fig. 20.d. Curva de la "S" de un acero de 0.35% C y 1.85% Mn; Temperatura de austenización 850°C. Grano mixto (Nº 7 (70%), Nº 2 (30%)),

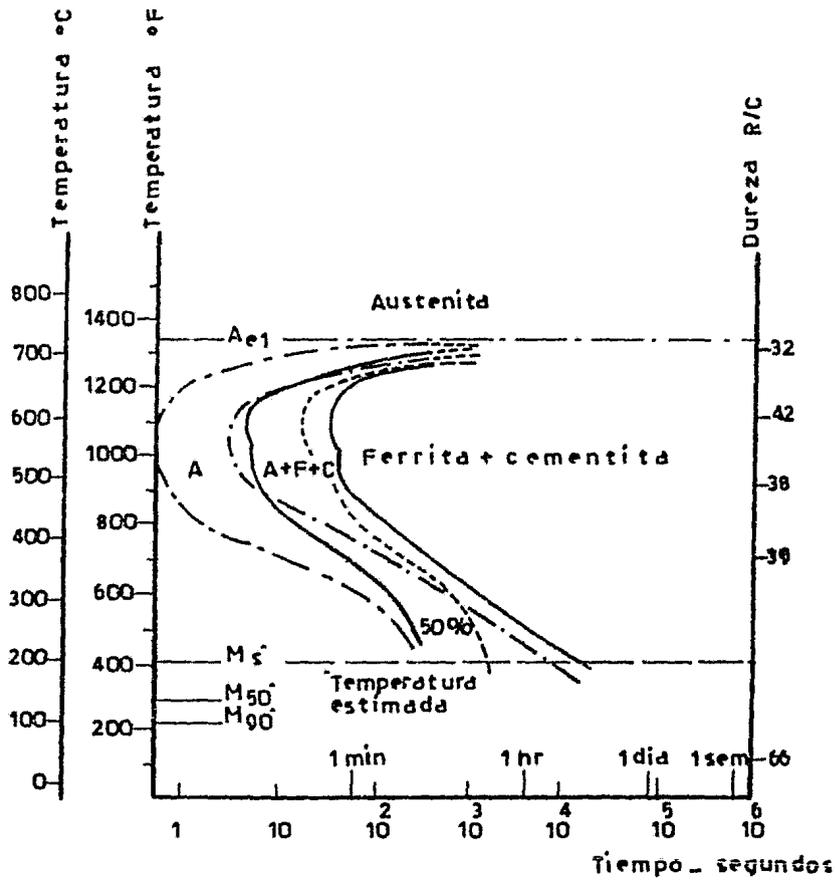


Fig. 21. Diagrama T-T de aceros al 0.87% C, 0.30% Mn, 0.27% V.

— Tamaño de grano: de 2 a 3, austenizado a 1052 °C.
 - - - - - Tamaño de grano: 11, austenizado a 816 °C muestran el cambio de la curva T-T a la derecha engrosando el grano austenítico.

uso de una rapidez de enfriamiento más lenta reduce el peligro de distorsión y de agrietamiento durante el tratamiento térmico. En tanto que hacer más grueso el tamaño de grano austenítico tiene un efecto similar al de la adición de elementos de aleación, el grano más grueso tenderá a reducir la tenacidad del acero.

Por ende, si se desea reducir la velocidad crítica de enfriamiento, esto se hará mejor si se combina la composición química, en vez de hacer más grueso el grano austenítico.

AVANCE DE LA TRANSFORMACION DE LA AUSTENITA

En la figura 22 se puede observar las diferentes líneas que señalan el avance de la transformación, gracias a las cuales se conoce cuándo ha conseguido el 25%, 50%, 75% o la total transformación de la austenita. Las curvas correspondientes a la zona de transformación perlítica y bainítica, se suelen llamar curvas "C", debido a su forma especial, observándose que en esa zona la transformación avanza con el tiempo cuando la temperatura permanece constante.

En general, la transformación de la austenita se inicia bastante lentamente y luego se acelera cuando se llega a la zona de 15% a 60% de producto terminado (fig 23).

Al final, cuando ya se ha efectuado la transformación del 80% y 90% de la austenita, la transformación vuelve a ser más lenta. En un acero de 0,50%C y 3,50%Mn, Bain determinó que la velocidad de enfriamiento y de transformación al alcanzar el 60%, es aproximadamente el doble de la correspondiente al momento en que se había conseguido el 30%; entre 80% y 90% es seis veces menor que la correspondiente al 30%, y a partir de 90% es diez veces menor.

En la zona inferior de los diagramas de la figura 22 y 23, que corresponde a la transformación de la austenita en martensita, aparece una modificación con respecto a la curva de la "S", del acero eutectoide determinada por Bain y Davenport. Esta variante, que ha tenido gran aceptación, se debe a Morris Cohen y tiende a facilitar las interpolaciones de los fenómenos que ocurren en los temple de los aceros.

Algún tiempo después de iniciados los primeros trabajos, relacionados con la curva de la "S", se modificó la idea que se tuvo en un principio sobre la transformación de la austenita en martensita, derivadas de los resultados obtenidos de las transformaciones isotérmicas. Se ha comprobado que la formación de la martensita no depende, como la de perlita, sorbita, troostita y bainita, del tiempo, sino exclusivamente de la temperatura, y por tanto, las líneas que señalan el avance de la formación de la martensita difieren de las de aquellos constituyentes que son horizontales como señala la figura 22. La formación de martensita, para una composición determinada, y una misma temperatura de austenización comienza siempre a la misma temperatura. Así, por ejemplo, en un acero que se inicia la formación de martensita a 280°C (fig 24), cuando la temperatura desciende a 250°C se ha efectuado ya la transformación de un 25% de austenita en martensita y no avanza, o avanza lentísimamente, la transformación si se mantiene esa temperatura constante durante mucho tiempo. En cambio, la transformación avanza al descender la temperatura nuevamente.

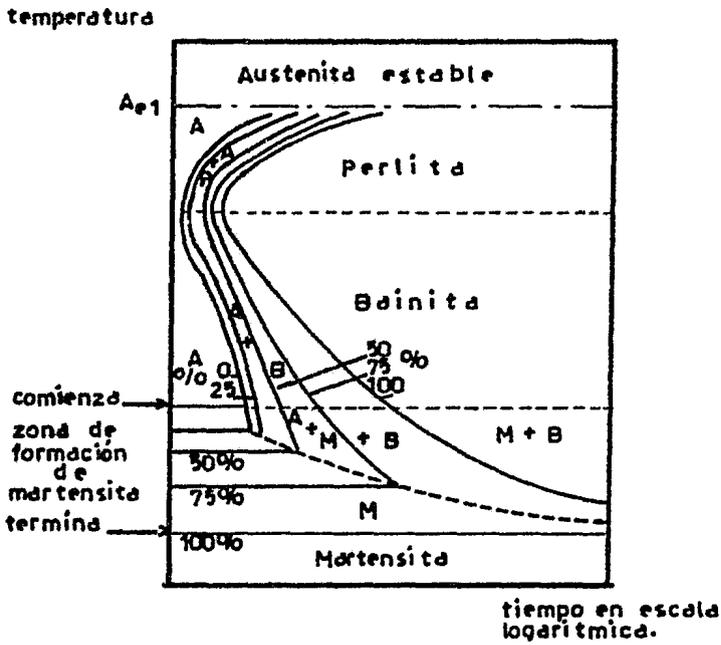


Fig.22. Avance de las transformaciones de la austenita. En la zona martensítica del diagrama, se ha introducido la modificación debida a Morris Cohen.

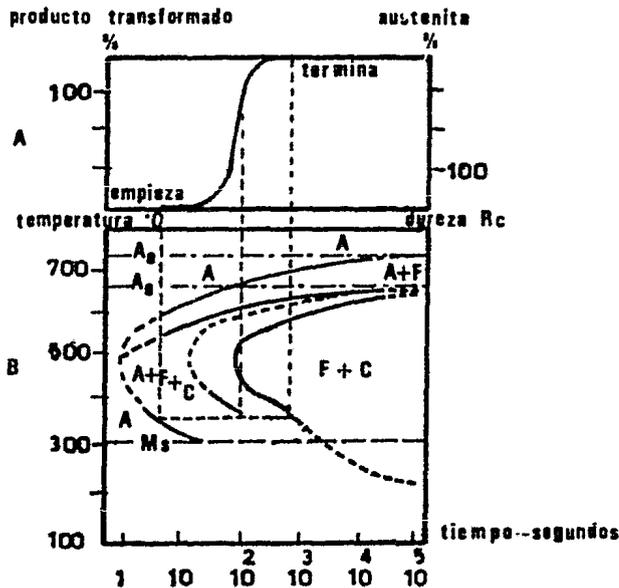


Fig. 23 Curva de la "S" de un acero 0.40% C y 3.5% Ni

Cada acero tiene una temperatura crítica M_s (punto A_r'''), en la que se inicia la transformación de la austenita en martensita, que es independiente de la velocidad de enfriamiento. El porcentaje de martensita que se transforma, aumenta al descender la temperatura del acero hasta llegar a una temperatura M_f , en la que se ha transformado ya el 100% y corresponde, por lo tanto, al fin de la transformación.

En los aceros de baja aleación las temperaturas M_s pueden conocerse con bastante aproximación por medio de la siguiente fórmula:

$$M_s = 500 - 350(\%C) - 40(\%Mn) - 35(\%V) - 20(\%Cr) - 17(\%Ni) - 10(\%Cu) - 10(\%Mo) - 5(\%W) + 30(\%Al).$$

En general todos los elementos tienden a hacer descender la temperatura de comienzo de la transformación.

Como se ve, el carbono es el elemento que más influye en el descenso de la temperatura de aparición de martensita el wolframio, molibdeno y cobre los que menos, y el manganeso, vanadio, cromo y níquel ejercen una influencia intermedia. El aluminio y el estaño lo elevan y el silicio no ejercen influencia apreciable.

Las temperaturas M_s y M_f se modifican al variar la temperatura de austenización. Al aumentar la temperatura de calentamiento desciende la temperatura de M_s y M_f aumentando en esos casos la cantidad de austenita retenida que aparece normalmente en los aceros después de un rápido enfriamiento.

La temperatura M_f suele ser, en general, de 150° a 300°C inferior a la temperatura M_s de cada acero. Los diferentes elementos aleados influyen en su situación de una forma bastante parecida a como hemos indicado para el punto M_s , siendo también el manganeso, cromo y níquel los que más hacen descender la situación del punto M_f .

CURVAS T.T.T. DE ENFRIAMIENTO CONTINUO

Las curvas de transformación isotérmica no permiten analizar, sino en forma aproximada, lo que sucede en aquellos tratamientos térmicos para los cuales la transformación austenítica se produce con una variación continua de temperatura.

Para realizar un análisis correcto de lo que sucede en dichos tratamientos, se deben utilizar las llamadas curvas T.T.T. de enfriamiento continuo. La figura 26 muestra el diagrama correspondiente a un acero SAE 4140.

Es posible construir este tipo de curvas utilizando métodos que son más complejos que los usados en la determinación de la curva isotérmica. La figura 27 muestra, en forma comparativa, el aspecto de la curva T.T.T. (isotérmicas y continuas) para el acero SAE 4140. Las curvas de trazos finos corresponden al diagrama isotérmico y las más oscuras al continuo. Puede notarse en la figura la tendencia (que es general) de las curvas de enfriamiento continuo a desplazarse hacia abajo y hacia la derecha, en relación con las curvas isotérmicas.

Para analizar un proceso con variación continua de velocidad de enfriamiento, se traza sobre el diagrama T.T.T. de enfriamiento continuo del acero correspondiente (y, si no se dispone de él, sobre el diagrama isotérmico) curvas como las a-b y a-c de la figura 25 en las que la variación de la temperatura con respecto al tiempo sigue una ley determinada. El error que se comete al usar las curvas T.T.T. isotérmicas, en vez de las de enfriamiento continuo, para análisis de este tipo, tiene en general poca importancia. La curva a-c indica que la austenita se ha transformado, con el ciclo de enfriamiento correspondiente, totalmente en perlita. En relación con la curva a-b, la velocidad de enfriamiento que experimenta el material, en la zona de tangencia con la curva T.T.T. se denomina velocidad crítica de temple, entendiéndose por tal a la mínima velocidad de enfriamiento con la cual la estructura resulta totalmente martensítica. En la figura 26 las líneas a-b y a-c tienen, en relación con el diagrama de enfriamiento continuo de dicha figura, el mismo significado que las equivalentes de la figura 25. En cambio la línea a-d, presenta características especiales que se analizan a continuación.

En relación con dicha línea, la transformación de la austenita no se completa al atravesarse la zona perlítica del diagrama. Ella continúa en la zona bainítica y martensítica.

Con el fin de poder determinar los porcentajes de austenita transformada en cada una de las zonas atravesadas por la línea a-d, se ha marcado, en la figura 26, los números: 50, 70 y 90. Estos números indican el porcentaje acumulado

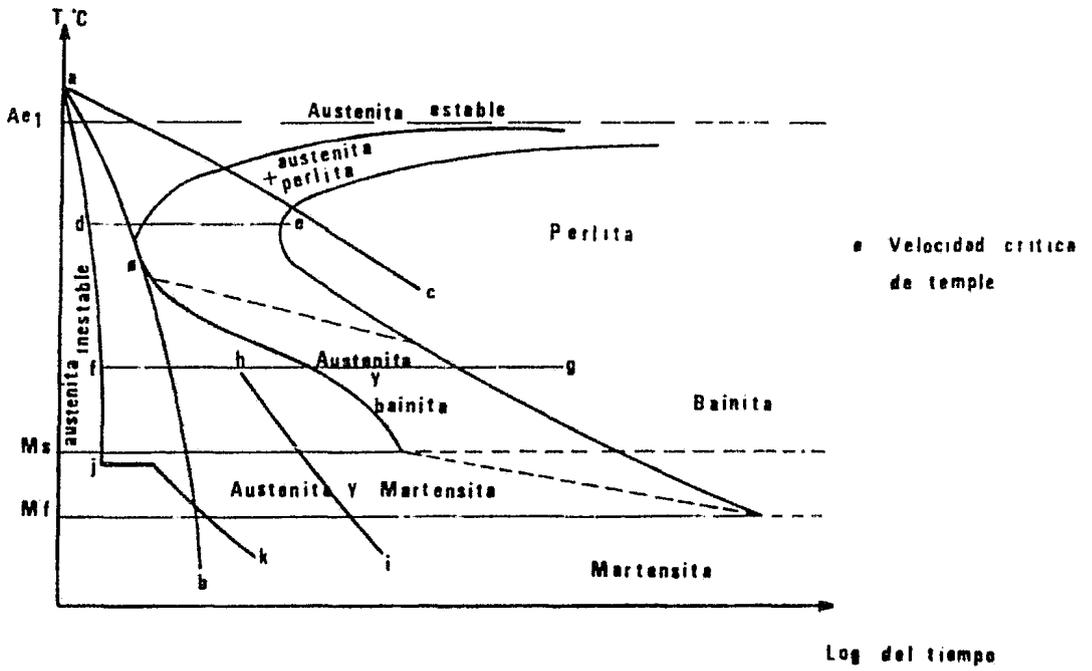


Fig. 25.- Representación esquemática de la curva T.T.T. de un acero eutectoide, indicando distintos ciclos de enfriamiento.

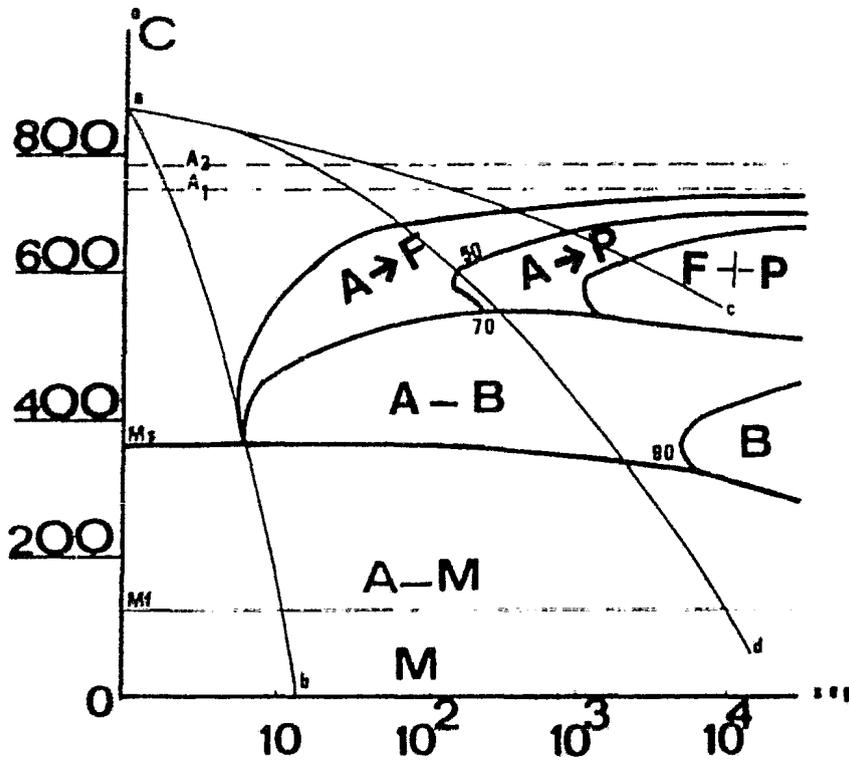


Fig. 26.- Curva T.T.T. de enfriamiento continuo de un acero SAE 4140.

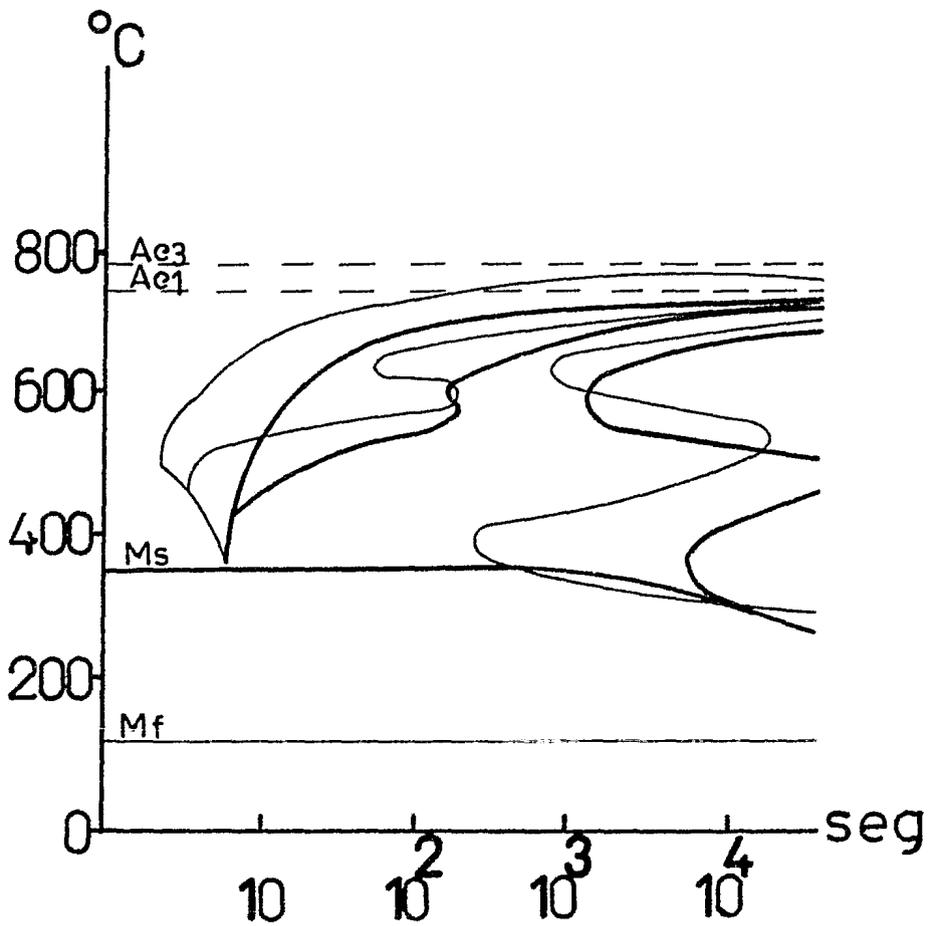


Fig. 27.- Comparación entre las curvas de enfriamiento continuo (líneas oscuras) e isotérmico (líneas más suaves), para el acero SAE 4140.

de austenita transformada. De acuerdo con ello el 50% de austenita se transforma en ferrita; un 20% en perlita otro 20% en bainita y el 10% restante en martensita

La colocación de números, en la forma indicada, sobre las curvas de enfriamiento continuo, es necesaria para la interpretación del tipo de estructura a obtener con una ley determinada de enfriamiento.

Las líneas que representan la ley de variación de la temperatura en función del tiempo, se trazan generalmente en correspondencia con los ciclos de enfriamiento de la parte central de barras redondas de distintos diámetros, enfriadas en agua, aceite o aire.

En general se habla siempre de velocidades de enfriamiento, porque éstos quedan prácticamente determinados, para el enfriamiento continuo en un medio dado, por la velocidad de enfriamiento correspondiente a una temperatura convenientemente elegida (por lo general se elige como temperatura de referencia 700°)

10

LECHO FLUIDIZADO

Y

TRATAMIENTOS TERMICOS

1.- INTRODUCCION

La fluidización de un baño de partículas sólidas es un fenómeno conocido a finales del siglo pasado.

Las numerosas aplicaciones de este fenómeno se desarrollaron este último decenio, principalmente en el dominio químico y petroquímico.

El objetivo de este trabajo es el de examinar a la luz de resultados teóricos y prácticos, lo que esta tecnología puede aportar en el dominio de los tratamientos térmicos en metalurgia.

Es evidente que como toda solución novedosa deberá ser examinada con la mayor atención y responder a cierto número de exigencias que en este caso se pueden resumir así:

- la solución debe aportar un tratamiento de alta calidad por la precisión de los ciclos que ella permite;*
- la solución debe conducir a las condiciones de trabajo, por su aprovechamiento, a que sean satisfactorias;*
- la solución debe tener en cuenta al medio ambiente y evitar toda polución o mal ambiental;*
- en fin también la solución deberá aportar económicamente una ventaja*

Si bien los tratamientos térmicos el lecho fluidizado no aportan en todos los casos la solución perfecta, en un cierto número de aplicaciones, esta técnica original permite lograr progresos.

A partir del análisis del procedimiento de la fluidización y de las características físico - químicas y térmicas estos determinan las mayores posibilidades frente a otros procedimientos en cuanto a sus aplicaciones a los tratamientos térmicos de metales para su calentamiento, mantenimiento y enfriamiento

2.- FENOMENO DE FLUIDIZACION

Simplemente la fluidización consiste en introducir en suspensión, sin arrastre, las partículas sólidas finas por una corriente de fluido ascendente.

Una cama fluida comporta por consiguiente un cerco vertical de fondo permeable (el difusor) el que contiene una cierta cantidad de partículas.

OBSERVACION DEL FENOMENO

La figura 1, muestra los diferentes aspectos de la puesta en suspensión de las partículas.

Una acción de pasar a través del fondo poroso una débil salida de gas.

Por una velocidad inferior al umbral de fluidización la columna de partículas reposa inerte hasta un momento de la parte de carga de gas inyectado igual al peso de la columna de partículas.

En este momento se observa una cierta inflamación de partículas 10% de la altura total, de la formación de burbujas que estallan en la superficie.

En caso de que aumente de nuevo esto rápidamente, las partículas son agitadas en el centro pulverizado fluido y con características de un fluido.

La superficie de separación horizontal, posibilita la creación de olas cuerpos que flotan o cuerpos que penetran sin que ofrezca resistencia a la penetración.

Por otro lado con esta región funcionando, la argumentación de la rapidez de fluidización causa el arrastre de partículas dentro de la corriente gaseosa (transporte neumático).

El lecho fluidizado estado intermedio entre la columna de partículas fija este el transporte neumático. Una cosa incierta delineada experimentalmente para cada tipo de partículas define experimentalmente una curva de pérdida de peso y anchuras de la cama en función de la rapidez del aire de fluidización.

La experiencia demuestra que el suministro gaseoso necesario a la fluidización es proporcional a la densidad de las partículas y el cuadrado de su diámetro (fig 2).

Para disminuir la energía necesaria en la fluidización, se deberán aprovechar las partículas finísimas. Entre tanto las partículas demasiado finas se fluidizan mal y pueden ser arrastradas por la corriente gaseosa.

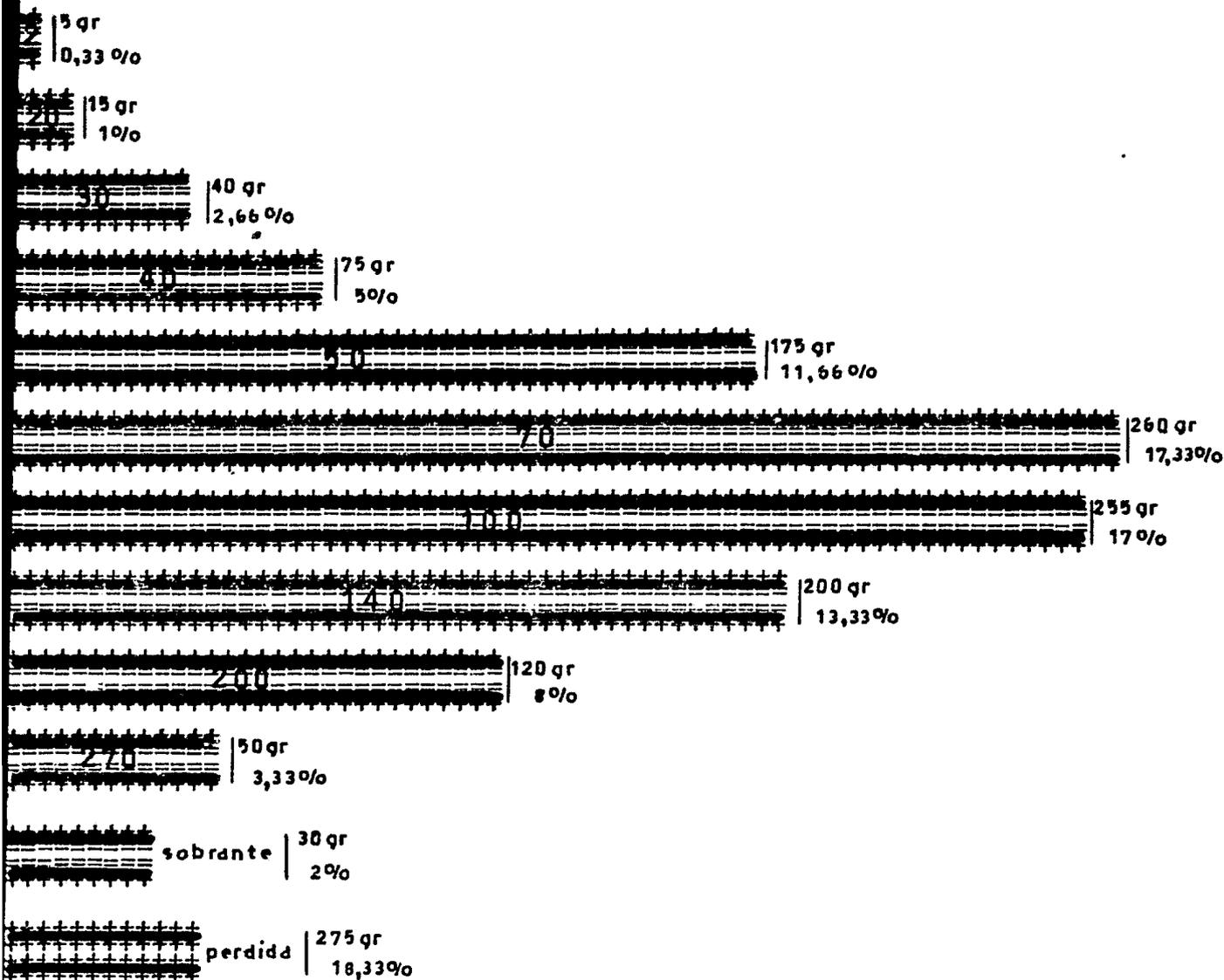
Prácticamente, se utiliza para los tratamientos térmicos de metales, las partículas de granulometría alrededor de 100 micras, inalterables y químicamente neutras.

El corindón, por ejemplo, se dispone perfectamente al fenómeno puesto en fluidización. Es un producto químicamente inerte, no inflamable, exento de sílice (90% de Al), punto de fusión elevado entre 2000° a 2050°C, medicamente exento de agresividad

SELECCION DEL GAS DE FLUIDIZACION

El gas de fluidización será elegido en función del tratamiento a efectuar y repartido en base al lecho fluidizado por el difusor.

GRAFICA DE GRANULOMETRIA



12 - 0,061 pulg - 1,70 mm
 20 - 0,033 " - 850 micras
 30 - 0,023 " - 600 "
 40 - 0,016 " - 425 "

50 - 0,011 pulg - 300 micras
 70 - 0,008 " - 212 "
 100 - 0,005 " - 150 "
 140 - 0,004 " - 106 "

200 - 0,002 pulg - 75 micras
 270 - 0,0021 " - 53 "

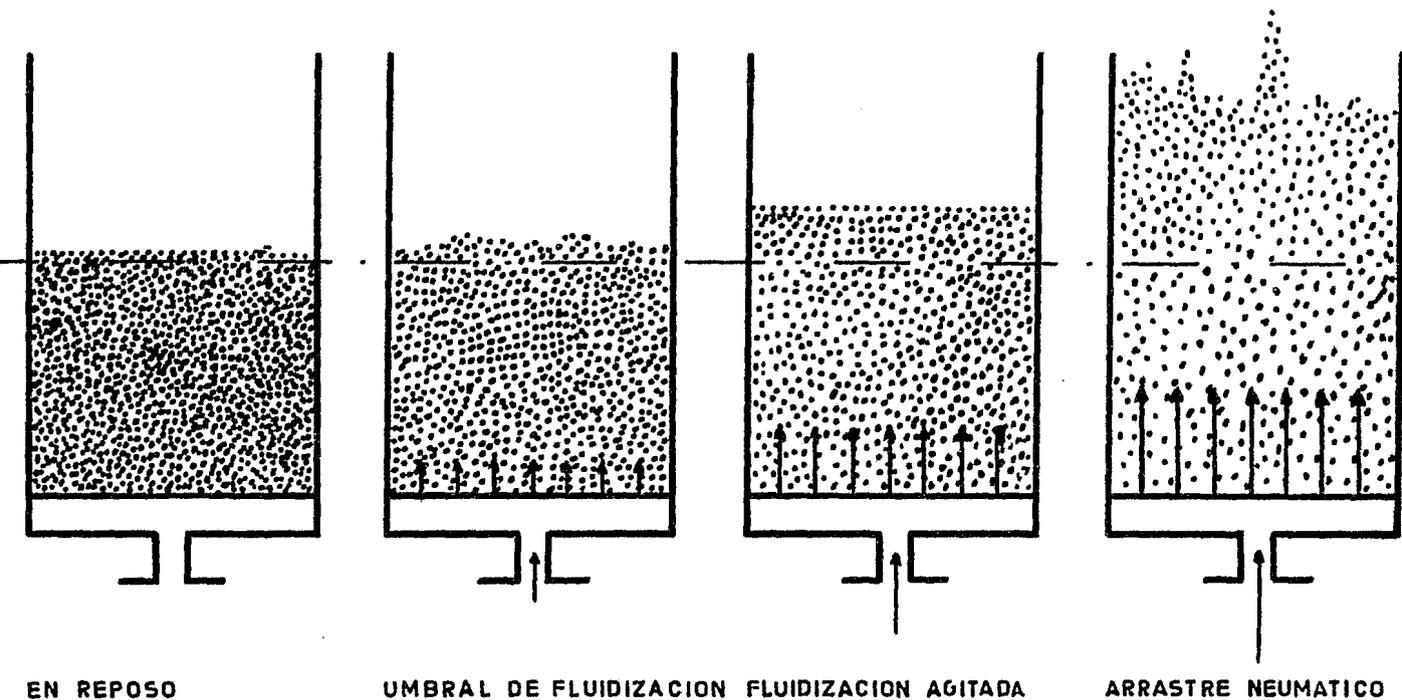


Fig.1. Diferentes aspectos de la fluidización.

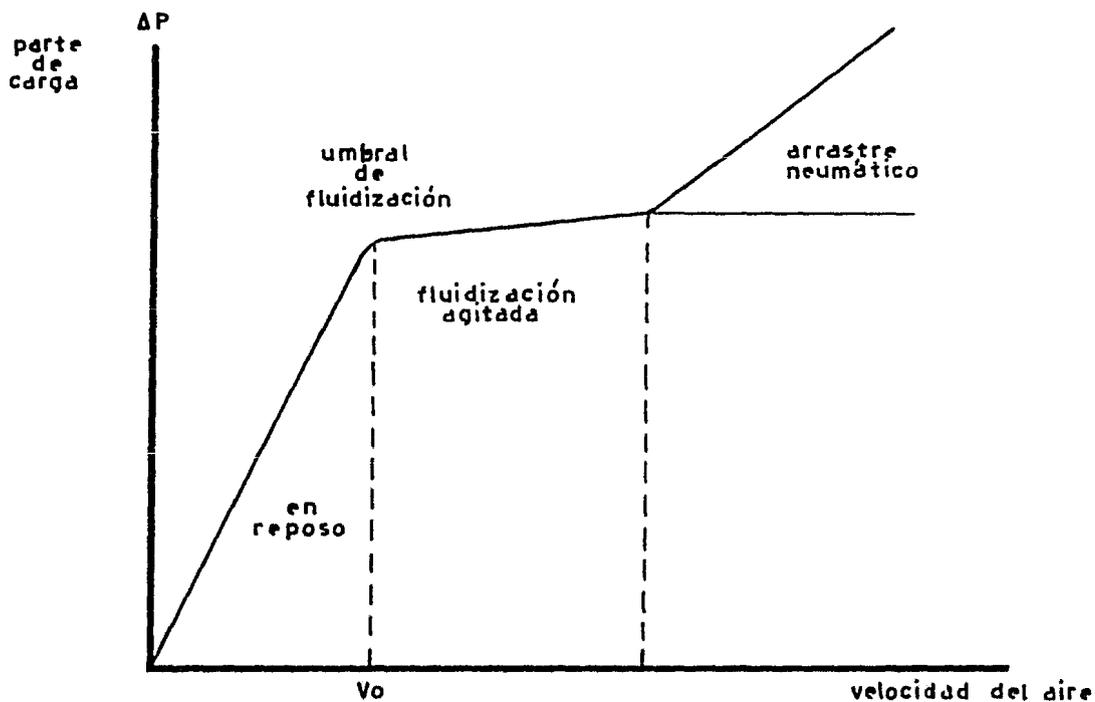


Fig.2 - Características.

La calidad en el resultado de un lecho fluidizado depende esencialmente de su difusor. Esta es la clave del proceso.

Su concepción demanda de tanto o más cuidado, que las partículas sean finas y que la temperatura de funcionamiento sea elevada.

Por dos partículas de corindón de 100 micras, la velocidad de fluidización es de 1 o 2 cm/seg. Las mismas partículas son animadas neumáticamente por una velocidad del gas del orden de 1 m/seg.

Puesto que del ascenso de temperatura del baño, es necesario mantener constante la velocidad de fluidización de las partículas, en el acto cuenta el coeficiente medio de dilatación del gas penetrando en la base de la cama fluida.

Si en función de la elevación de la temperatura del baño se examina la producción de la fluidización para fluidizar las partículas del orden de 100 micras, se nota que a enfriado, le falta cerca de $100 \text{ Nm}^3/\text{h}$ por metro cuadrado de difusor, y que cuando la temperatura alcance 1000°C , la producción no este más que cerca de $6 \text{ Nm}^3/\text{h}/\text{m}^2$ (figura 3).

El ajuste de producción de fluidización en función de la temperatura del lecho es generalmente manual, más puede ser automatizada.

3._ PROPIEDADES TERMICAS DEL LECHO FLUIDIZADO

La agitación de partículas en un lecho fluidizado conduce a los cambios térmicos, todo a hechos remarcables en el baño lo mismo con un producto que este sumergido.

HOMOGEINIZACION DE TEMPERATURA

Las medidas precisas efectuadas en un lecho fluidizado muestra que se puede excluir:

- una zona próxima del difusor;
- una zona próxima de los medios de cambio térmico, se puede definir un volumen útil del baño representativo en general 80 a 90% del volumen total donde las desviaciones de temperatura por producir una indicación de referencia no excediendo más de 2 a 3°C , en una cubierta de temperatura de 50 a 1100°C .

CAMBIO TERMICO ENTRE UN BAÑO FLUIDIZADO A TEMPERATURA CONSTANTE Y UN PRODUCTO SUMERGIDO EN EL LECHO.

En la figura 4, se compara la velocidad de enfriamiento de una probeta

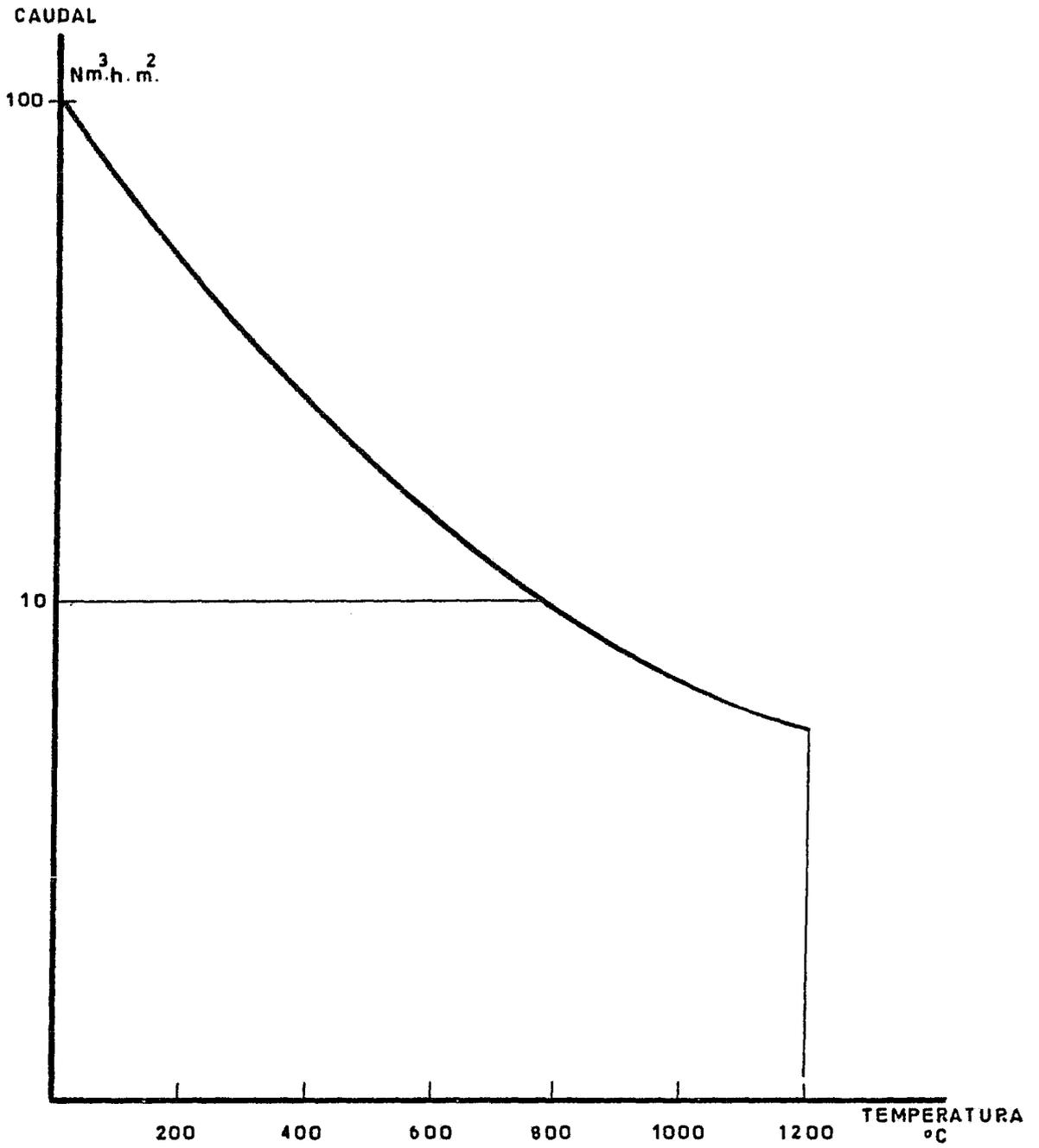


Fig.3 - Umbral de fluidización en función de la temperatura.

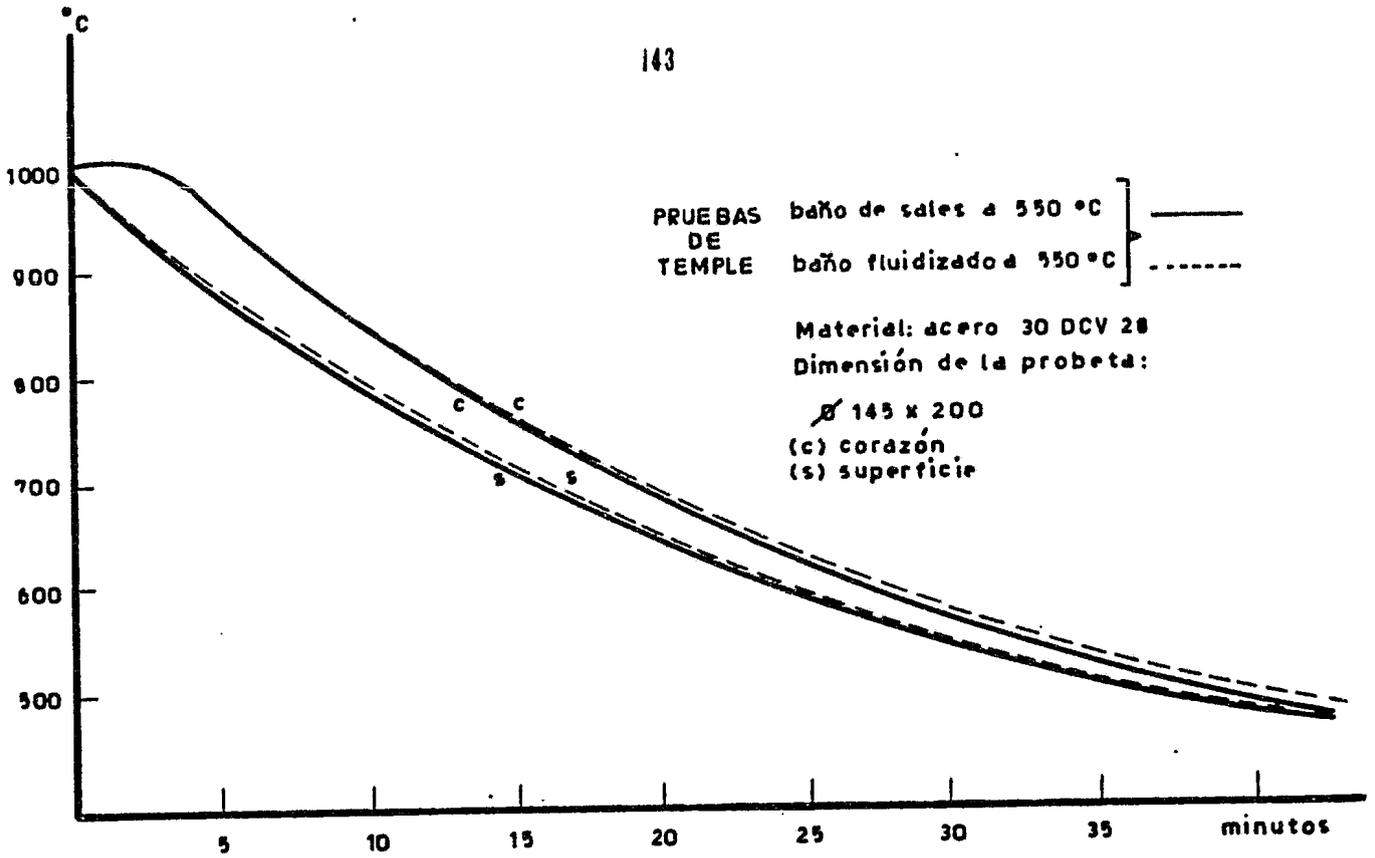


Fig. 4 - Pruebas de temple en baño fluidizado.

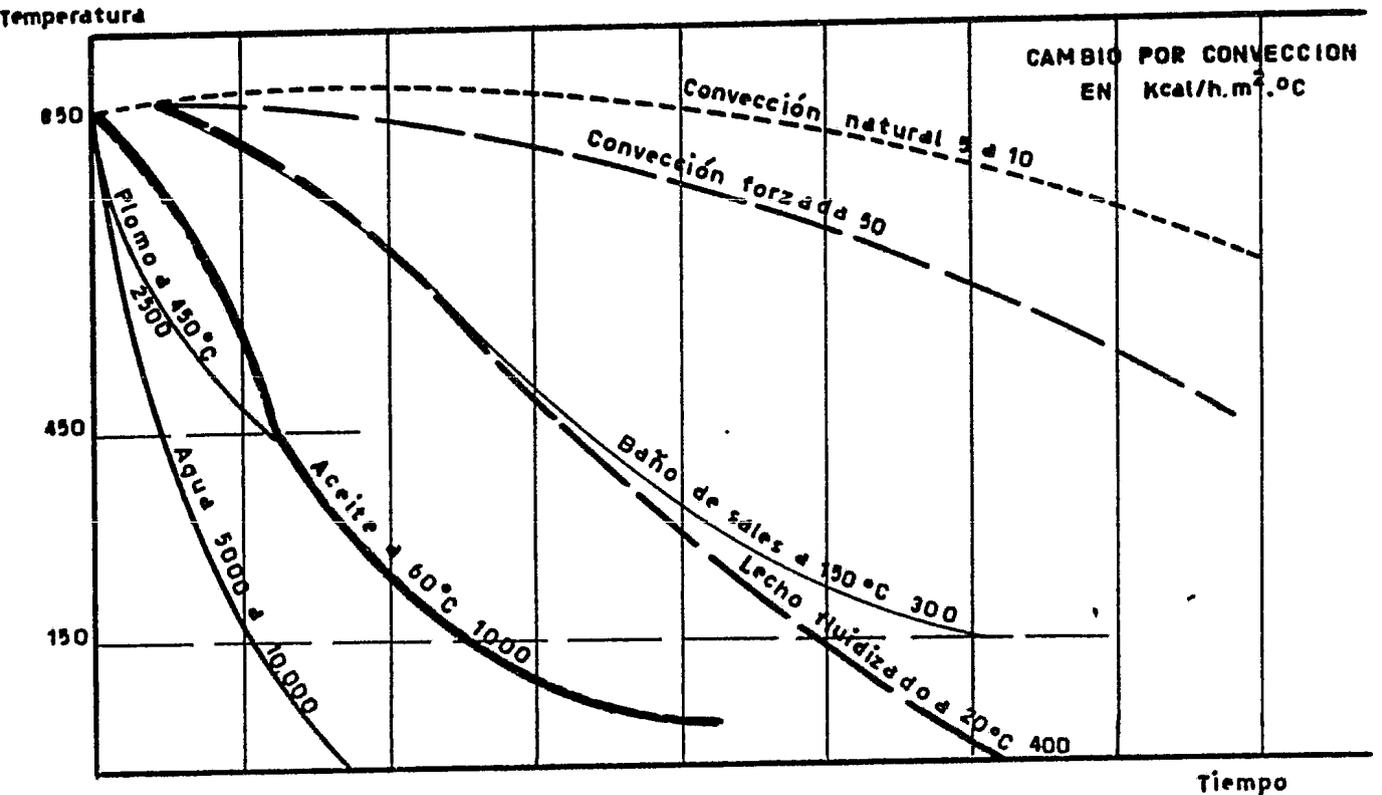


Fig. 5 - Comparación de diferentes medios de entriamiento.

inicialmente homogeneizada a 1025°C templada en un baño de sales y en un lecho fluidizado a 550°C. El registro del ciclo muestra que los resultados son prácticamente idénticos.

Más generalmente, se aporta en un esquema comparativo (fig 5) las curvas de enfriamiento de una esfera patrón enfriada en diversos medios (a la temperatura ambiente, excepto por el baño de sales a 150°C y el baño de plomo a 450°C) e indica el coeficiente medio de cambio en $\text{Kcal/h/m}^2/\text{°C}$.

VARIACION DEL COEFICIENTE DE CAMBIO

El parámetro principal que afecta la transmisión de calor en el seno de un medio fluidizado es la dimensión de las partículas, el coeficiente aumenta cuando el diámetro de la partícula disminuye. Y depende igualmente, más en una manera menor la velocidad del fluido inyectado en el recinto, de su conductividad térmica, así como de la densidad y de las propiedades termofísicas de partículas sólidas, en fin, de la forma geométrica del horno y de los accesorios que favorecen la circulación de partículas fluidizadas alrededor de los productos sumergidos.

RECIRCULACION DE PARTICULAS ATRAVES DE UNA CARGA DE PIEZAS

La preocupación de mejorar los cambios térmicos entre el lecho fluidizado y las piezas en desorden en una cesta conduciendo a los arreglos específicos a cada aplicación.

La organización de la auto-recirculación de las partículas a través de cargas sumergidas esta en una de las ilustraciones.

El fenómeno natural denominado así efecto "TAMALET" tomado naciendo de la inmersión de una columna cargada de piezas en desorden en un baño.

La recirculación rápida auto-entresostiene a las partículas a través de la columna, se explica por la disminución de sección que se esta ofreciendo ocasionado por la presencia de piezas en la columna, esta que a consecuencia de la disminución del peso de partículas contenidas en la columna considerada. Enseguida un aumento de la velocidad del gas entre tanto las partículas que remontan a través de la carga de piezas, hasta que la presión o el pie de esta columna equilibre la presión del lecho fluidizado al mismo nivel.

Dos medidas realizadas sobre una columna provista de (bolas) esferas de diámetro 20 mm (figura 6), totalmente sumergidas en un baño fluidizado, el que permite poner en evidencia un caudal masico de partículas auto-sostenidas (sostenidas entre si) alrededor de 30 toneladas/hora por metro cuadrado de columna de

piezas, asegurando así una gran homogeneidad de temperatura en el seno de la carga totalmente tratada.

Este estudio muestra tres cualidades de los baños fluidizados que pueden retener la atención de técnicos de tratamientos térmicos:

- una homogeneización y precisión de temperatura remarcable;
- una gama de temperaturas de funcionamiento extenso;
- una gran rapidez de puesta en equilibrio de temperatura entre el baño y las piezas sumergidas, gracias a los cambios térmicos muy elevados.

4.- TECNOLOGIA DEL LECHO FLUIDIZADO

La concepción de baños fluidizados, permite asegurar eficazmente el tratamiento térmico de productos metalúrgicos, necesitando la puesta en obra de un cierto número de elementos adaptados a los fenómenos de fluidización.

Entre los cuales se pueden recordar:

ELECCION DE PARTICULAS

Las partículas finas son seleccionadas en función de su aptitud a la fluidización y las cualidades que ellas confieren a los cambios térmicos en el baño.

ELECCION DEL GAS DE FLUIDIZACION

El gas inyectado en el difusor asegura la puesta en suspensión y la mezcla de las partículas.

Químicamente neutras se activan, le permite el transporte de la energía entre la superficie térmica, las partículas y las piezas a tratar.

EL DIFUSOR

El difusor es la parte esencial del lecho fluidizado el asegura, por una perforación, calibre adaptado a cada aplicación, la repartición del gas de fluidización en el recinto; su construcción es enteramente en acero refractario prácticamente insensible a las variaciones térmicas del baño. Su vida útil es prácticamente ilimitada.

Será necesario en la utilización de un baño fluidizado en tratamientos térmicos;

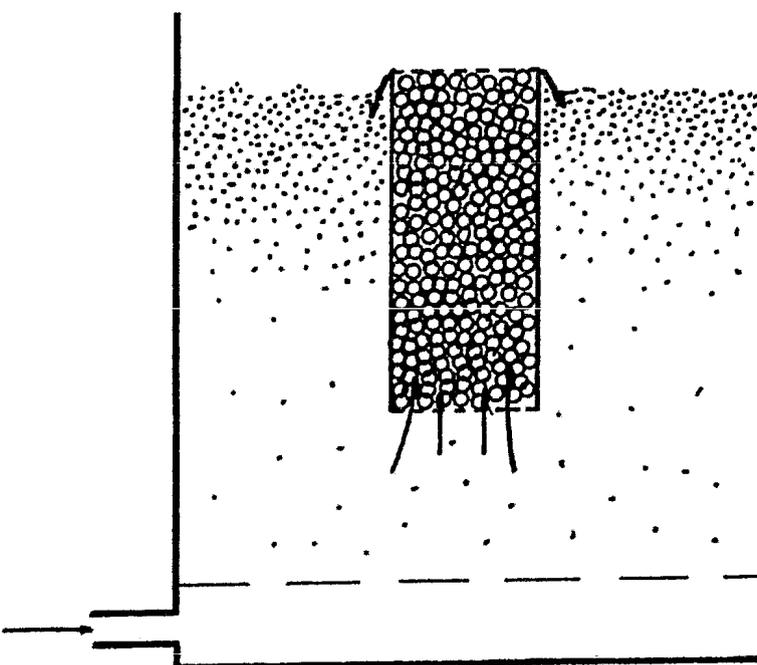
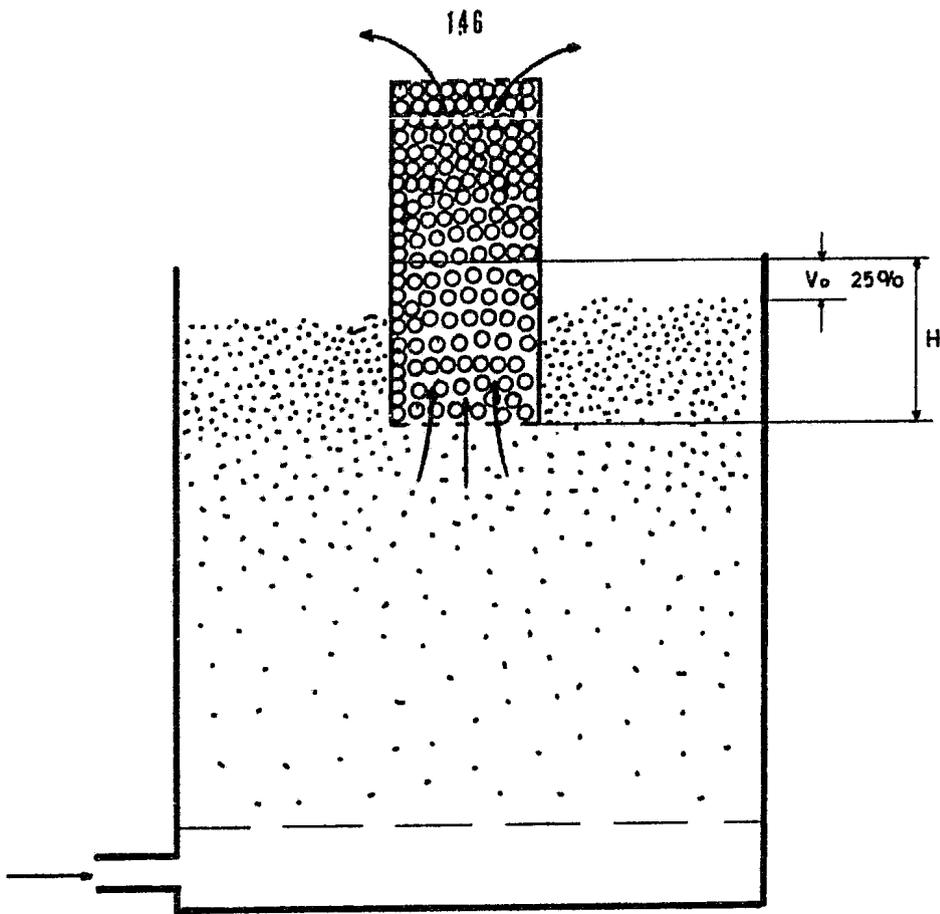


Fig. 6 - Fenómeno característico de recirculación.

- que puede elevar su temperatura si es utilizado como horno de calentamiento;
- será de enfriamiento si se le constituye un medio de temple;
- será los dos eventualmente y simultáneamente si es empleado como medio de temple isotérmico.

MEDIOS DE CALENTAMIENTO

Calentamiento por Gas.

El lecho fluidizado por su naturaleza granular, permite el considerar los modos de calentamiento originales.

El aporte energético puede ser hecho por la combustión aire-gas, o por resistencias eléctricas.

Cada modo de calentamiento engendra las condiciones de explotación diversas.

COMBUSTION INTERNA (figura 7).

El gas combustible y el aire comburente son inyectados a la base del horno y mezclados en el lecho fluidizado.

Durante el ascenso de temperatura, la combustión se propaga en el medio pulverizado, el lecho forma entonces algo semejante a un baño en fución.

Este modo de calentamiento permite un funcionamiento en una gama de temperaturas de 800° a 1300°C. El gas de combustión asegura así la fluidización de - biendo ser captada por una chimenea.

MECHERO A COMBUSTION SUMERGIDA (figura 8).

Representa la analogía del baño fluidizado con un líquido, una técnica particular consiste en hacer borbotean los vapores de un quemador en combustión sumergida, el gas directamente en las partículas fluidizadas.

La combustión es activada en el ducto del quemador, los vapores cambiarán completamente su energía con las partículas.

Este modo de calentamiento permite un funcionamiento en una gama de temperaturas cerca de 250° a 800°C.

CALENTAMIENTO ELECTRICO

Contrariamente a las comparaciones que pueden ser hechas antes de 1974, en los costos de energía fácil favoreciendo la construcción de instalaciones de calentamiento por gas, la situación actual en el caso de tratamientos térmicos en lecho fluidizado rinde el calentamiento eléctrico más competitividad, y asegura un

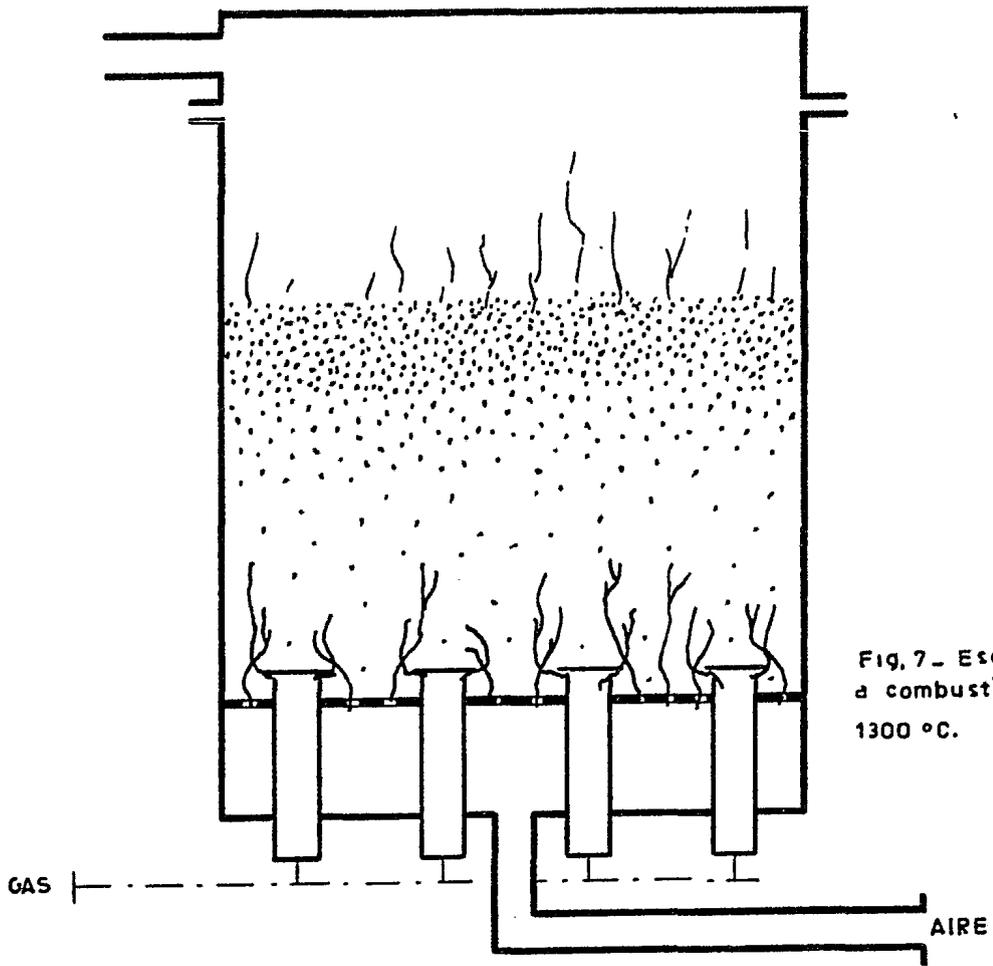


Fig. 7 - Esquema de un horno a combustión interna 800 a 1300 °C.

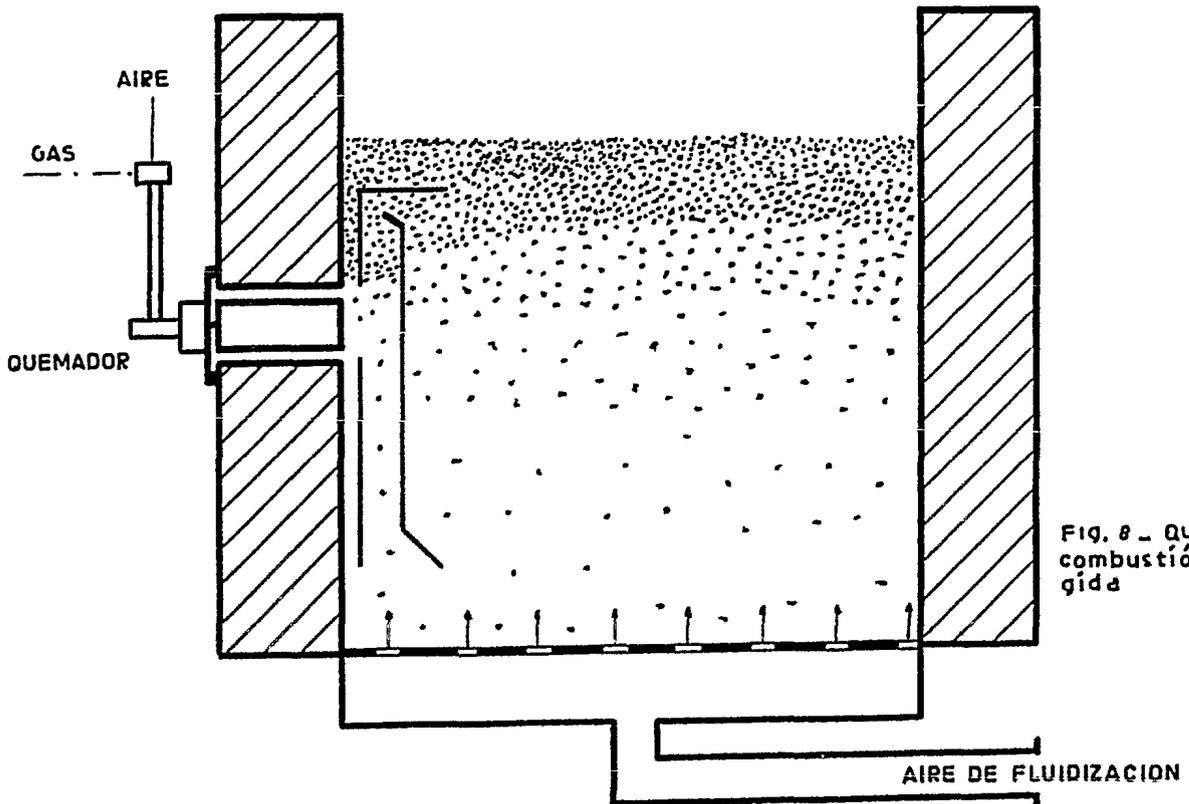


Fig. 8 - Quemador a combustión sumergida

mejor rendimiento y una mayor flexibilidad de utilización.

Del punto de vista térmico, el calentamiento eléctrico, interno o externo, permite el separar la función de calentamiento de la fluidización, asegurando aparte una estabilidad de mezcla de partículas, y por otra parte, un mantenimiento económico de la instalación a las temperaturas comprendidas entre la ambiente y 100°C.

Dos tipos de disposición son posibles:

- en el primer caso, las resistencias son repartidas uniformemente en el exterior y la radiación sobre la mufla que transmite la energía a las partículas, esto para una utilización hasta 1100°C;
- en el segundo caso, las resistencias blindadas son sumergidas en las partículas y transmiten directamente la energía al baño, dominio de utilización hasta 800°

MEDIOS DE ENFRIAMIENTO

Cuando el lecho fluidizado es utilizado como baño de temple, la energía aportada por los productos sumergidos en las partículas deben ser extraídas del baño.

Varios medios son posibles:

En una débil proporción, el lecho fluidizado es enfriado por el gas frío de fluidización inyectado en el difusor.

Esto es luego necesario, el asegurar el enfriamiento para un elemento de cambio independiente de la fluidización y sumergida igualmente en las partículas. Un simple cambio a fluido portador de calor (agua, aceite, freón), constituido de tubos formando un serpentín, aseguran el mantenimiento y la estabilidad de una base de temperatura del lecho fluidizado.

Cuando el tratamiento necesite mantener el baño a una temperatura establecida por debajo de 80° a 100°C (caso de temple isotérmico), no permite más la inmersión directa de una carga en el baño, es necesario extraer el excedente de energía por otros medios.

Esto es posible, por ejemplo, al utilizar una pulverización de agua directamente en la superficie del baño, esto es extremadamente eficaz y de fácil inmersión.

Por lo contrario si por las razones propuestas al tratamiento, la presencia del vapor de agua es prescrito, las partículas serán fluidizadas por un gas protector, y la energía aportada por las piezas será extraída a través de la mufla que contiene el baño del tratamiento, sea por una convección forzada sobre

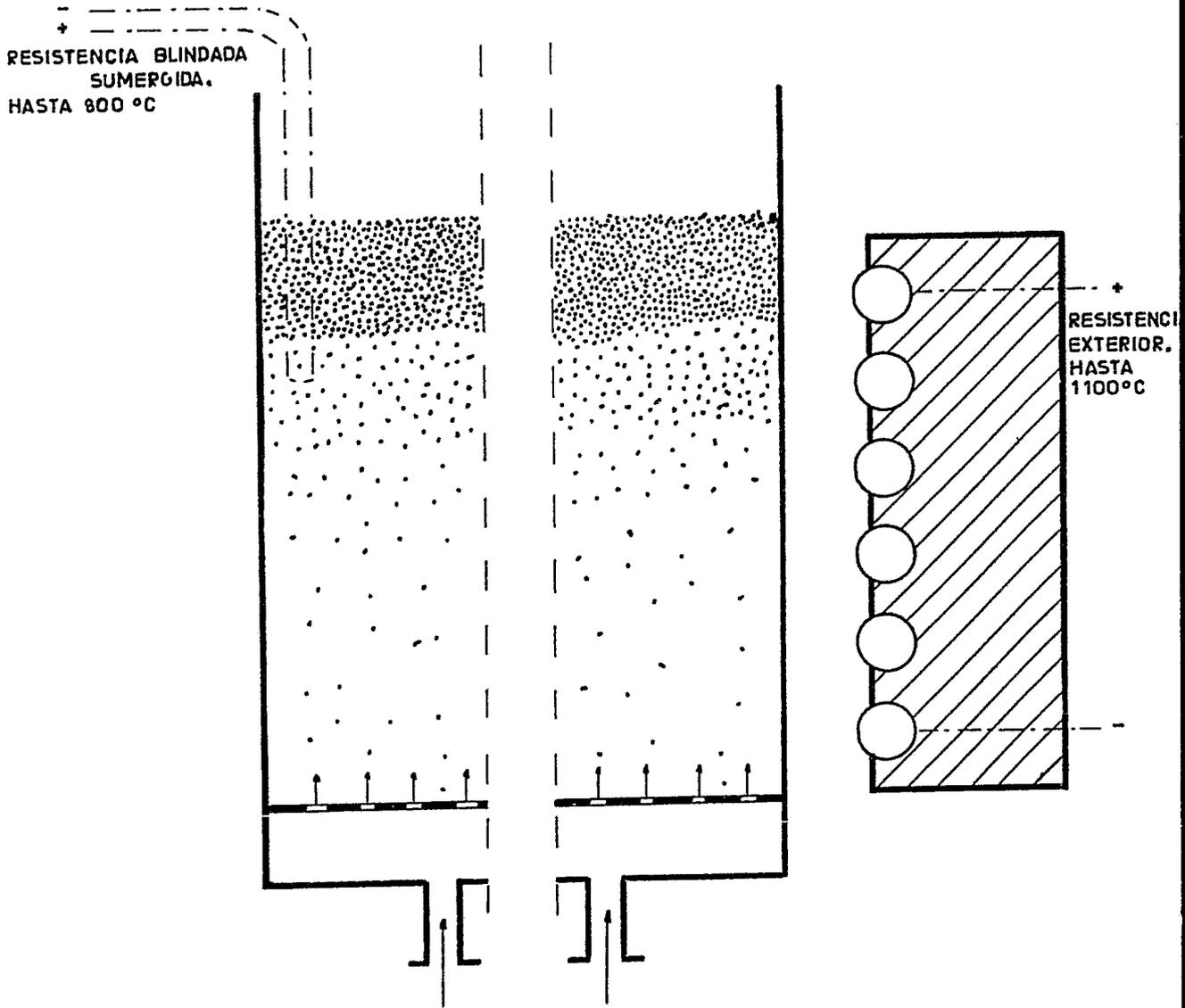


Fig. 9:
Ejemplo de calentamiento eléctrico.

la pared, solo por un segundo lecho fluidizable.

La figura 10, representa un dispositivo semejante donde la eficiencia de los cambios en el lecho fluidizado es puesta a dos recuperaciones en obra.

La instalación se presenta bajo la forma de dos baños concentricos.

Un baño fluidizado central de temple, puesta en temperatura por dos resistencias eléctricas blindadas.

Un segundo baño anular, constituido de las mismas partículas, en el seno del que este sumergido un cambiador tubular recorrido por un fluido portador del calor.

Probablemente, en reposo durante la puesta en temperatura del lecho principal, el baño secundario será devuelto a la actividad por fluidización de la inmersión de la carga en la parte central, asegurando la extracción de la energía del baño principal y manteniendo una temperatura de temple constante.

El resultado del análisis, que se va a hacer, de los principales fenómenos, hechos a la fluidización presenta las ventajas siguientes:

- homogeneidad y precisión perfecta de la temperatura para todos los tratamientos térmicos y particularmente para las piezas en desorden;
- muy grande la rapidez de los cambios térmicos;
- facilidad de indicación de temperaturas;
- propiedad de los productos tratados, supresión de poluciones;
- medio fluidizado inalterable, paso de solidificación del baño, ni de lavado que implique el tratamiento de las aguas rechazadas;
- economía de los materiales y de energía;
- seguridad del personal y aminoración de condiciones de trabajo.

5.- TEORIA DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL BAÑO FLUIDIZADO

El principio de baño fluidizado es mostrado en la figura 11 cuando el baño fluidizado esta contenido en un recipiente aislado y lleno de partículas de arena o alumina. Las partículas son mantenidas en suspensión por el gas caliente que lo eleva a través del lecho.

Las piezas metálicas a calentar pueden permanecer prolongadamente en el baño fluidizado de partículas como si este fuera un líquido y estas serán calentadas por el fluido caliente del baño. La velocidad de transferencia de calor en el baño es más bien elevada que en una simple fase gaseosa en un tubo vacío o en un tubo lleno de un material granulado inmóvil.

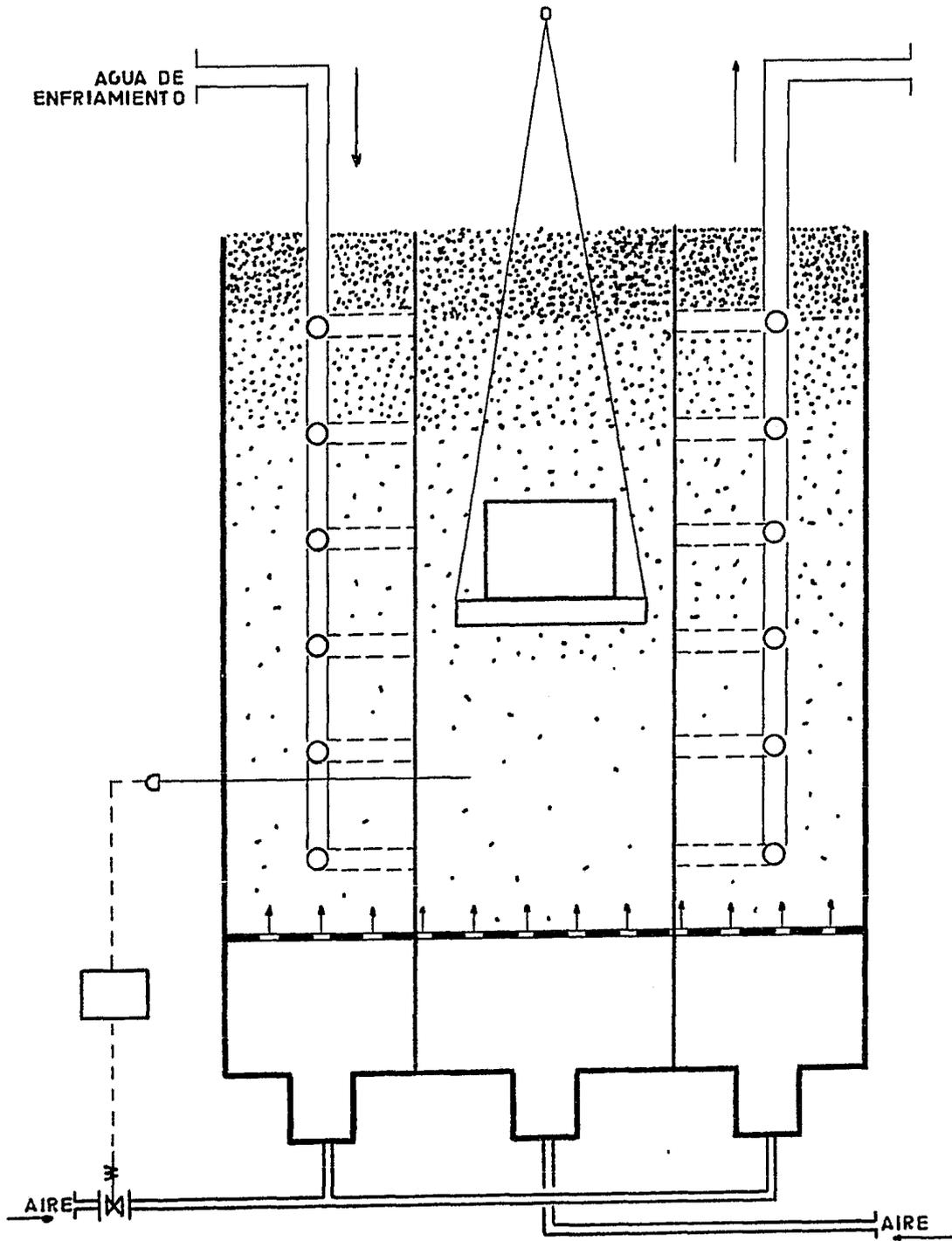


Fig.10.- Baño de temple isotérmico.

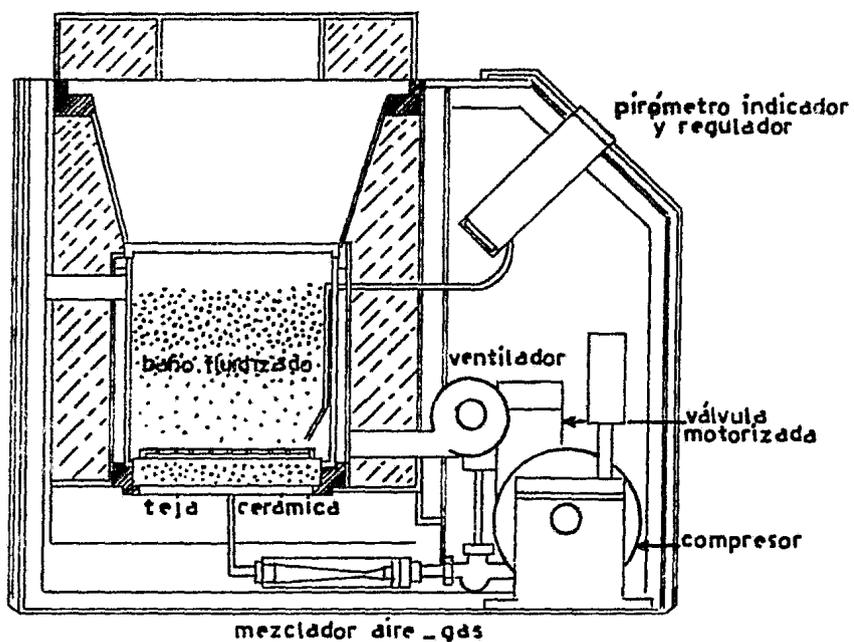


Fig 11 Horno de taller de tratamiento de herramientas a baño fluidizado.

La variación gradual del coeficiente de transmisión de calor desde un baño fijo hasta uno completamente fluidizado es mostrado en la figura 12. Después de haber conseguido la velocidad mínima de fluidización U_{mf} , el coeficiente de transmisión de calor h aumenta rápidamente por una débil variación de $[U > U_{mf}$ de la rama ascendente 1 de la curva], la elevación esta en el orden de 1 a 2 en la fluidización por gas.

A una cierta "velocidad óptima" U_{opt} el coeficiente de transmisión de h alcanza un máximo [h_{max}] y disminuye luego [rama descendente de la curva 2].

La velocidad real de transmisión de calor que se obtiene en el fluido, depende de la velocidad del fluido y su conductividad térmica, de la dimensión y de la densidad de las partículas sólidas, de las propiedades térmicas y de la forma lo mismo que de las particularidades geométricas del horno. En general, sin embargo, el parámetro principal [la velocidad] que afecta el coeficiente es la dimensión de las partículas, el coeficiente aumenta cuando el diámetro de la partícula disminuye.

La teoría moderna de dos fases que da una imagen de este efecto esta basada en la representación del coeficiente de transmisión para los "paquetes" de partículas sólidas (fase continua) que son desplazados periódicamente de la superficie de transmisión por las burbujas de gas (fase discontinua). La velocidad de transmisión depende de la velocidad de calentamiento de los paquetes o fases particulares, y de la frecuencia de su sustitución a la superficie. La presencia de un máximo sobre la curva $h - U$ (figura 12), es atribuido al aumento simultáneo de la frecuencia de sustitución de paquetes y del número de burbujas de gas sobre la superficie de transmisión. Este mecanismo de transmisión predomina en la fase densa de un baño fluidizado con una proporción de vacío de 0,7 a 0,8, una expansión más grande del baño estando acompañada de una inversión de fase y el mecanismo de paquetes se anula.

A alta temperatura (800 a 1000°C), se incluye un factor de radiación para tener cuenta de la radiación de las partículas hacia la superficie.

En la práctica, en los baños fluidizados con gas, las velocidades son del orden de 0,15 o 1 m/seg, para las partículas de 300 a 800 micras de diámetro. Están dadas según la elección además para obtener condiciones de combustión estable y de velocidad de transmisión de calor equilibrada antes que las condiciones ideales de transmisión de calor, pero, a temperatura elevada, el efecto de radiación produce que el coeficiente dependa menos de la dimensión de las partículas y de la velocidad del fluido. A temperaturas más bajas como la de los baños de revenido, el diámetro de las partículas esta reducido en similitud con la velo

Fig. 13 Composición de gas y temperatura a diferentes profundidades en un baño fluidizado de temple de herramientas.

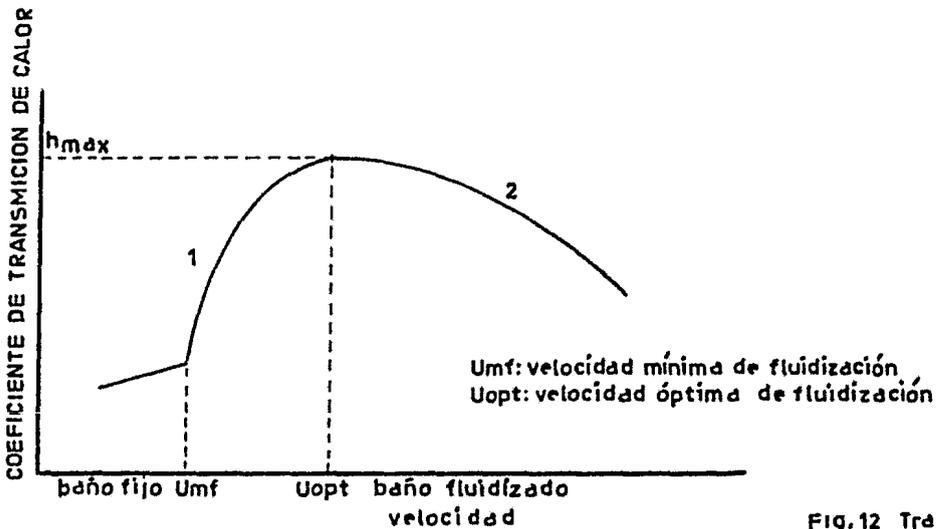
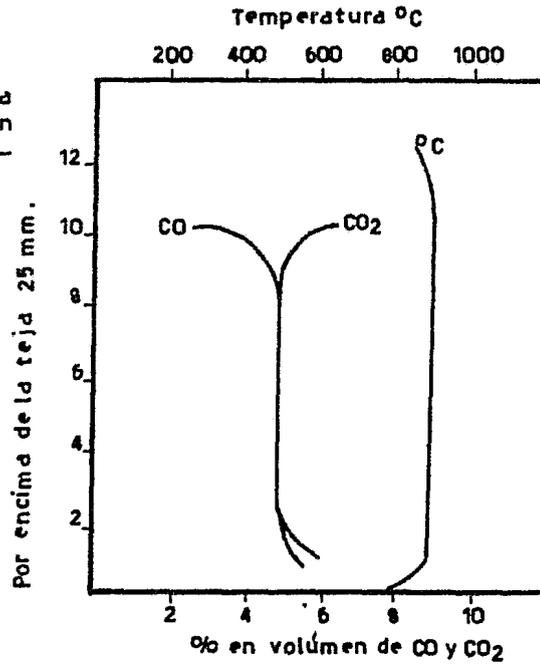


Fig. 12 Transmisión de calor en un baño fluidizado coeficiente en función de la velocidad.

idad por tener el coeficiente máximo.

El resultado de estos parámetros de los coeficientes de transmisión de calor de 5,768 a 17,3 W/m²/°C, que son de cinco a diez a la vez estos que se pueden obtener de un sistema normal de aire o de gas forzado.

Se obtiene de más una transmisión de calor de partículas de tal manera buena en los baños convenientemente fluidizados que los tiende a volverse isotérmicos, esta es una característica importante para el dominio correcto de las operaciones.

El gas de fluidización es igual a la atmósfera de un horno el cual esta tratando el metal y por consecuencia se escoge considerando el tratamiento elegido. Por ejemplo, ella puede ser inerte o químicamente activa, y en este caso, puede ser escogida por ofrecer las condiciones oxidantes, descarburantes o cementantes.

El empleo de los baños calentados eléctricamente, estan convenientemente descritos en la literatura, y bien que en el se a hecho mención, esta exposición se producirá principalmente a los baños calentados por gas recientemente puestos a punto.

6.- BAÑO FLUIDIZADO CALENTADO POR GAS

BAÑO FLUIDIZADO A CALENTAMIENTO INTERNO

Este dispositivo es mostrado en la figura 11, en el cual el aire y el gas son mezclados en proporciones casi estiquiométricas y pasan a través de una placa porosa por encima de aquella las partículas son fluidizadas en el corazón gaseoso. La puesta en marcha del lecho se hace encendiendo la mezcla combustible por encima del baño que este contenido en el recipiente metálico o en un refractario, y el frente de la flama desciende gradualmente justo al fondo del baño y se estabiliza por encima de la placa cerámica. La combustión se hace entonces espontáneamente justo a 25 mm de la superficie de la placa. Para regular la atmósfera en la zona de calentamiento del baño, la atmósfera se mantiene ligeramente reducida con alimentación en la mezcla baja estiquiométricamente queda una mezcla con 4 a 6% CO y 5 a 7% CO₂ sin oxígeno libre en el baño (figura 13).

La temperatura del baño esta regulada automáticamente por un regulador proporcional que libera la mezcla gas/aire en el baño. El margen de regulación esta seleccionado por encima de la velocidad mínima de fluidización y, en el caso de los hornos con cámara, una doble pared con recirculación de aire, permite una elevación de calor suficiente para obtener una temperatura constante durante los periodos sin carga a los periodos de mantenimiento de temperatura.

BAÑO FLUIDIZADO BAJO ATMOSFERA CALENTADO POR GAS

El horno con atmósfera cementante interior (fig 14) se presenta como un baño de dos zonas en las cuales la zona interior de trabajo esta calentada por una zona exterior que esta calentada interiormente.

En este horno, el propano o gas natural esta mezclado con alrededor de una decima de la cantidad estiquiométrica de aire (el rendimiento depende del potencial de carbono deseado) y es utilizado como el gas principal de fluidización pasando por el distribuidor. Esta mezcla rica gas/aire es rota en una atmósfera rica en carbono en la zona interior, más en cantidad justa suficiente para fluidizar. La atmósfera carburante puede ser ajustada para dar el contenido correcto en carbono de la capa cementante y, con el calentamiento rápido, de las velocidades de cementación elevadas que son sostenidas.

El gas rico en oxido de carbono en la zona central crea calor justo abajo de la superficie por inyección de aire secundario donde el calor de combustión mantiene el baño a temperatura elevada.

BAÑO FLUIDIZADO CALENTADO A GAS POR EL EXTERIOR

A temperaturas inferiores a 750°C, la combustión no es un paso estable en el baño calentado interiormente. Por consecuencia, para las operaciones tales como el revenido, es necesario el tener recursos de calentamiento por el exterior como indica la figura 15. Se añade un quemador con exceso de aire ardiente en una cámara de combustión por encima de este, el baño fluidizado esta soportado por una placa porosa. La temperatura del baño esta regulada variando la cantidad de gas en la mezcla, la cantidad de aire soplado restante es constante y se puede obtener un margen de temperatura de 200° a 700°C.

7.- PROPIEDADES Y RESULTADOS

CARACTERISTICAS DEL CALENTAMIENTO DE LOS ACEROS EN EL BAÑO FLUIDIZADO

Los resultados del calentamiento de herramientas de 50 a 75 mm de espesor anterior a este reporte para aleaciones, pero eso vale la pena repetir cual - quiera que sean los resultados tales que son mostrados en la figura 16, que muestran que las secciones más pequeñas pueden ser calentadas a velocidades muy elevadas. Este es un hecho que se a encontrado que la duración del corazón es obtenida con un tiempo de permanencia dos veces más largo que el tiempo de permanencia a temperatura. Así, las herramientas de sección 12, 25 y 50 mm pueden ser templadas durante 5, 10 y 20 minutos respectivamente.

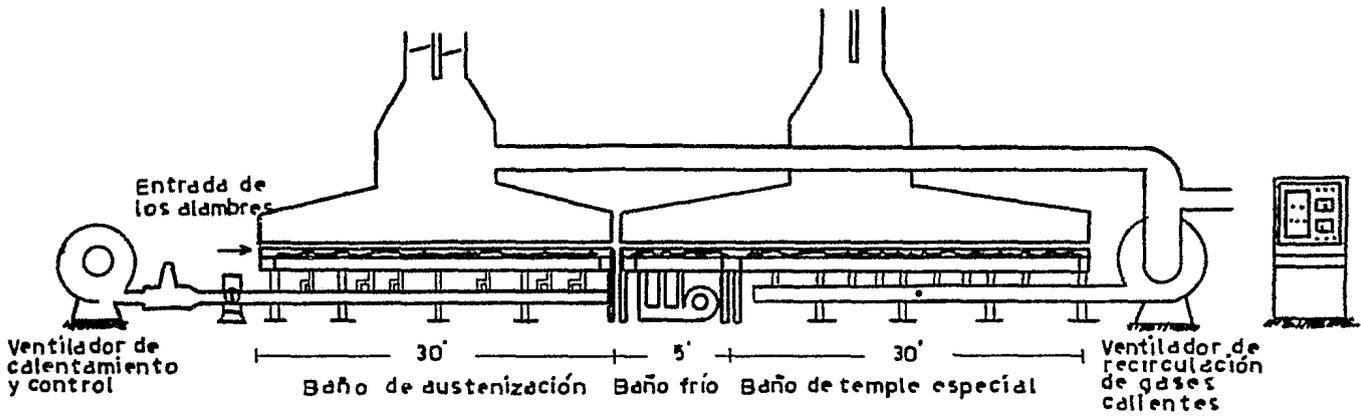


Fig.14 Instalación de temple especial de alambres en continuo.

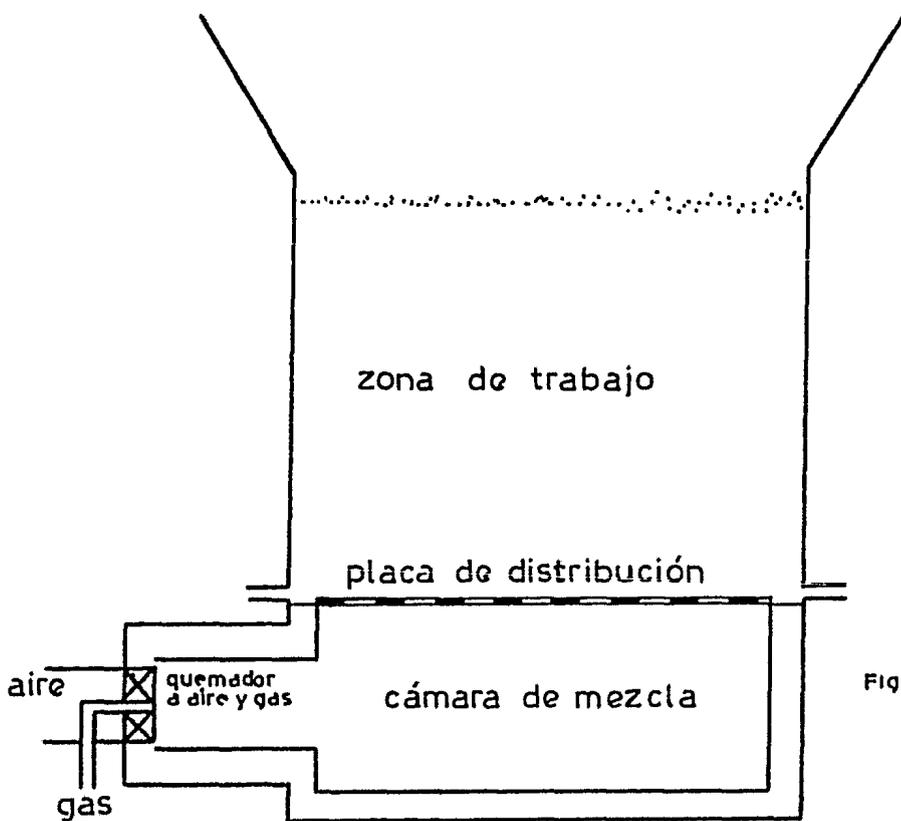


Fig.15 Baño de revenido.

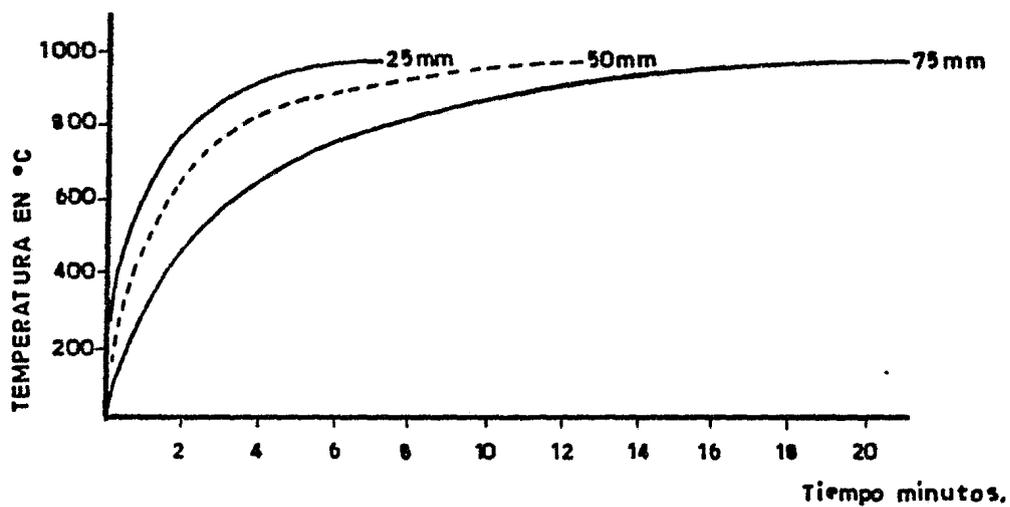


Fig. 16 Velocidad de calentamiento de muestras de acero 2233 en un baño fluidizado a 960°C.

Todos los principales aceros o herramientas anteriores pueden ser templadas bajo forma de herramientas de diferentes dimensiones y de resultados particularmente buenos estos se obtienen con los matices AFNOR 2211, 2231, 2233, 2234, 50 C-5, y clases 1100 y 1200 [D, O, W, H y A de AISI].

Todo acero puede ser templado después de calentarse de 750° a 1100° pudiendo ser tratado convenientemente en este baño.

La conclusión general de estas pruebas apuntan que para las secciones superiores a 50 mm, el aumento de la velocidad de transmisión a la superficie del metal no aumenta al pasar la velocidad de calentamiento al corazón, porque apunta la conductividad del metal prponderantemente. Esto agrada a la conclusión que las más grandes ventajas en las velocidades de calentamiento se producen para las piezas de pequeña sección y en particular en los hornos continuos. De los ensayos en alambre (fig 17) muestran que los tiempos de permanencia de 5 a 50 seg son suficientes para atender las temperaturas de 900° a 1000° C. Estas curvas muestran que para los espesores los más fuertes, alambres de 3,2 y 6,35 mm de diámetro, el alambre alcanza 95% de la temperatura deseada para una permanencia cerca de la mitad del tiempo. Se puede poner en beneficio esta propiedad en recalentar de 50 a 100° al lado de la entrada del horno por encima de la temperatura de tratamiento deseada; la facilidad con lo que esto puede ser hecho en el baño de tratamiento en los alambres será expuesto en un párrafo "aplicaciones en los hornos continuos". Las posibilidades ofrecidas en los talleres de tratamientos y de proceso de alambres serán desarrolladas más adelante, más se puede calcular simplemente que las velocidades más elevadas de paso de alambre 61 m/min, pueden ser realizados en baños de longitud razonable.

CARACTERISTICAS DE ENFRIAMIENTO DE ACEROS EN BAÑO FLUIDIZADO

De una manera análoga, se trazan las curvas de velocidad de enfriamiento de alambres prolongados en un baño fluidizado de alumina a temperatura ambiente (fig 18). Esta muestra las ventajas de prolongar los alambres en un baño "super enfriado" si se obtiene rápidamente una temperatura intermedia tal como 500° C empleado para este caso.

BASKAKOV a mostrado que empleando los baños fluidizados para los tratamientos, se obtienen resultados metalurgicos identicos a los dados en baño de nitrato y baño de plomo.

Sin embargo, aparecen que se pueden mejorar las propiedades en el enfriamiento justo por debajo de la temperatura de tratamiento y dejar a continuación que la temperatura se eleve a través de la nariz de la curva de transforma -

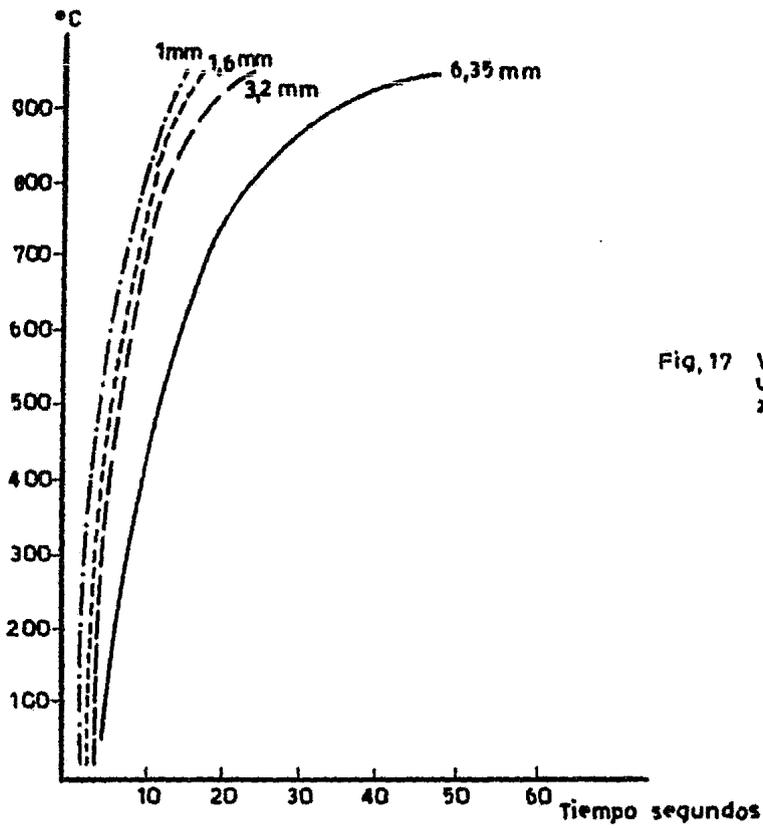


Fig. 17 Velocidad de calentamiento de un alambre en un baño fluidizado.

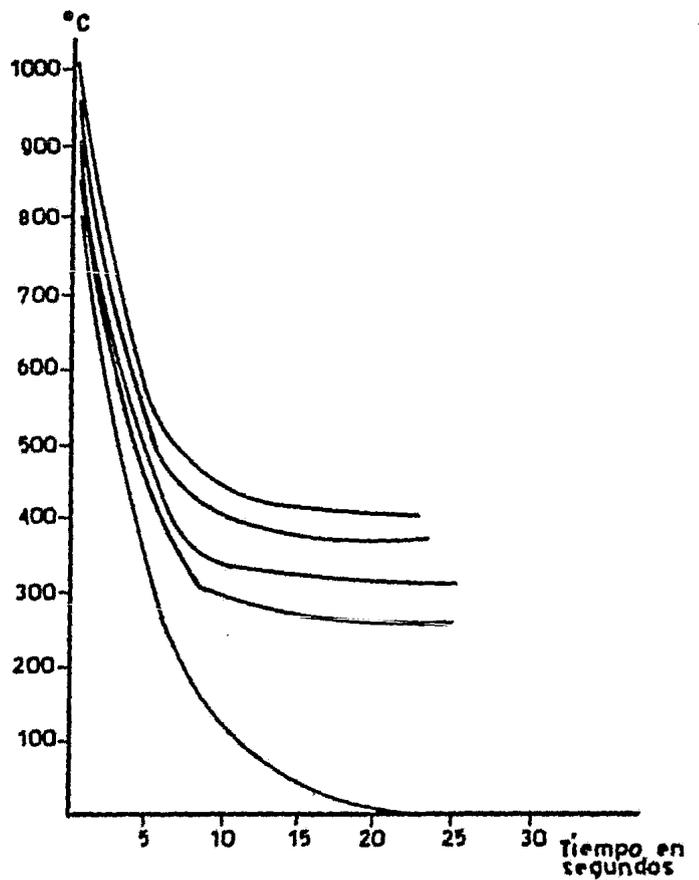


Fig. 18 Curva de enfriamiento de alambres de 3.2 mm de diámetro permaneciendo en el baño fluidizado entre la temperatura ambiente y 450°C.

ción isotérmica.

Además de esto, otra técnica de enfriamiento permite el realizar las condiciones de temple ininterrumpido de aceros de herramientas de matiz 2200 [01 de AISI] y prolongar el calentamiento de las piezas en un baño fluidizado frío de granalla de acero, que se dan para las más débiles secciones con durezas correctas (60 Rc) sin ninguna tendencia a las grietas en las formas difíciles (ver figura 19).

Un baño de alumina augura que sea demasiado débil la capacidad térmica y una demasiado débil capacidad de enfriamiento para obtener una dureza suficiente. En el caso de los alambres, los baños de alumina son suficientes.

3.- APLICACIONES DEL BAÑO FLUIDIZADO

El número de aplicaciones de los baños fluidizados es elevado pero la falta de escoger los que proporcionan las más grandes ventajas económicas y técnicas en los aparatos existentes es lo que a detenido las mayores ventajas en los tratamientos térmicos.

APLICACIONES EN LOS HORNOS DE CARGA

El primero y más simple remplazo de los baños de sales neutras y de baño de plomo con velocidad de calentamiento analogas pero de mejores condiciones de polución. La tabla I muestra las aplicaciones de los hornos de carga y la fig 20, muestra un ejemplo de hornos calentados por gas para tratamientos de herramientas. Estos hornos son ahora corrientes y son de ajuste automático, las dimensiones más utilizadas son de 300 mm de diámetro y 300 mm de profundidad y con una capacidad de producción de 18 a 27 Kg de herramientas por hora. De los ensayos esmerados de aceros de herramientas en el taller sean hechas y reportadas en otra parte más las ventajas de tener en el taller tal horno habiendo un tiempo de ascenso a 900°C en una hora son evidentes. Y no es necesario retirar las piezas en curso de tratamiento, al hacer los inicios lentos con precauciones, de dejar marchar los hornos la noche. El horno consume gas natural o propano a razón de una termia por hora, el consumo así es mínimo. El consejo es no tratar herramientas de dimensiones superiores a 75 - 100 mm de sección en estos baños, las partículas tienen tendencia a ser depositadas en pila sobre las piezas burdas siendo retiradas de la corriente de fluidización y sufriendo un calentamiento irregular. Esto puede ser evitado almacenando las herramientas de canto en el baño.

Las aplicaciones de un horno de este tipo para la cementación, ya mencionado, puede ser utilizado en remplazo de un horno de baño de cianuro. El tipo de horno mostrado en la figura 21 es un poco más complicado que el simple horno calentado interiormente, más un horno produce de 18 a 27 Kg/hr de piezas cementadas no utilizando más de 2 a 3 termias/hora de gas como combustible. El aspecto de tal horno es analogo al horno de la figura 20.

Los hornos de baja temperatura calentados eléctricamente para el revenido se estan vendiendo en Inglaterra y los Estados Unidos desde hace mucho tiempo y muestran las ventajas de esta técnica. Las velocidades particularmente elevadas de calentamiento pueden ser realizadas sin recalentar (baño a temperatura más elevada que la que exige la temperatura final de la pieza) y, en cualquier caso como se le ve en la figura 22, una temperatura regulada con precisión puede ser obtenida más rápidamente que con el calentamiento por inducción. La experiencia demuestra que los hornos de carga calentados eléctricamente y los hornos de calentamiento externo por gas siendo los últimos los más prácticos. Esta experiencia demuestra la confiabilidad, la robustez y la economía de combustible de los hornos calentados por gas.

APLICACIONES DE LOS HORNOS CONTINUOS

La tabla II muestra las aplicaciones a los tratamientos continuos, la rapidez de los tratamientos ya señalados para los baños fluidizados particularmente adaptados a los tratamientos en línea, a la manufactura de los alambres y a los tratamientos de piezas pequeñas. Un trabajo considerable ha sido efectuado para la manufactura de baños fluidizados en remplazo de los baños de sales y los baños de plomo.

Los ensayos de la industrialización de medios productos en Rusia se obtuvieron mejores productos que con los baños de plomo. De hecho ZUBOV encontro que la resistencia y la ductilidad más elevadas fueron obtenidas en los baños fluidizados obteniendo las mejores condiciones.

En esta instalación, los alambres de 4 a 6 mm de diámetro y de 0,69 a 0,91 de carbono estan enfriados a las temperaturas marcadas pasando el alambre después a un horno eléctrico a temperatura de austenización en un baño fluidizado calentado eléctricamente a la temperatura establecida. Los resultados de estos ensayos fueron comparados con los obtenidos en enfriamiento de sales de nitrato o con plomo. La elección correcta de las condiciones de tratamiento en el baño fluidizado dan un alambre con una buena resistencia a la tracción y una ductilidad más elevada que con los baños convencionales.

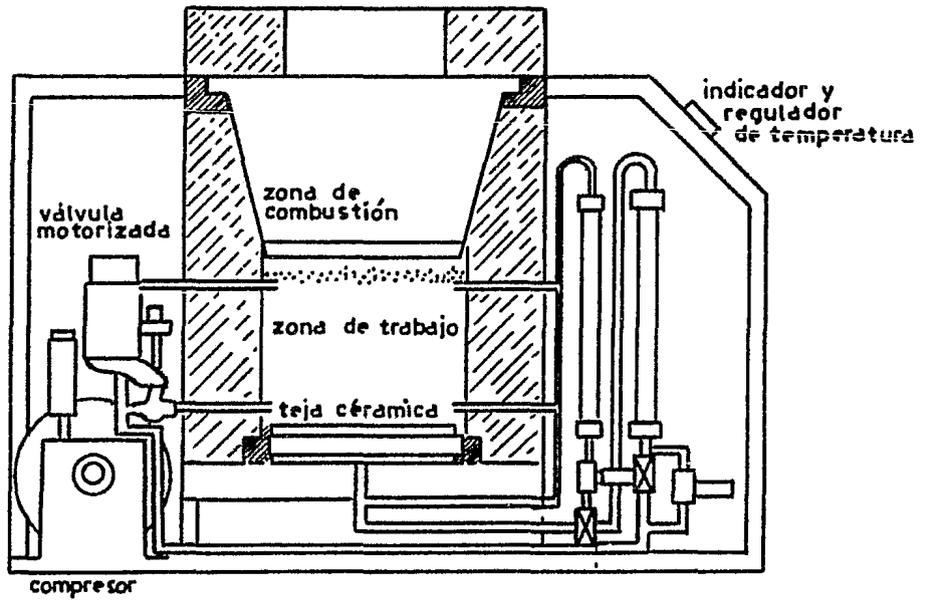


Fig.21 Horno de cementación por baño fluidizado 900 a 1050°C.

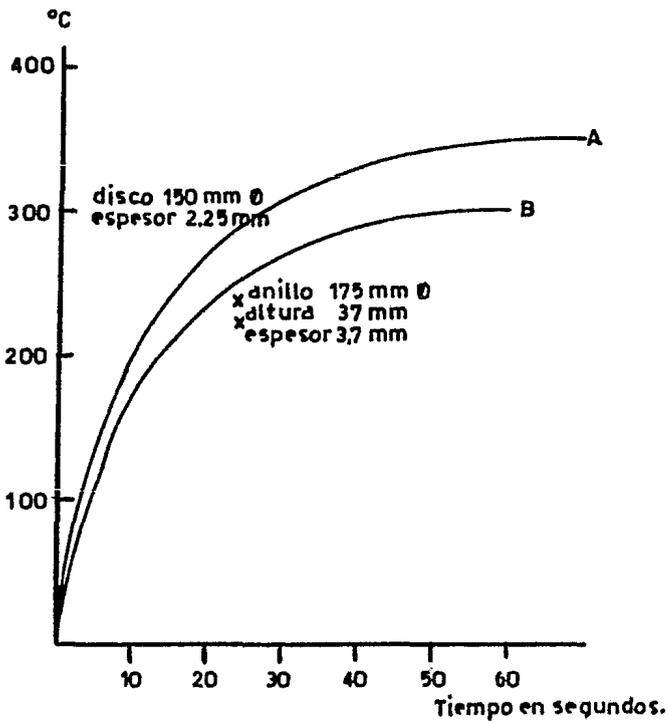


Fig.22 Velocidad de calentamiento para un baño de piezas a baja temperatura.

TABLA I

Aplicaciones posibles de la tecnología de los baños fluidizados
a las operaciones de tratamientos en hornos de carga.

Procedimiento	Elección de los procedimientos			
	temple gama 750 a 1110°C	tratamientos de superficie 750 a 1050 °C	tratamientos de revenido o temple interrumpido 100 a 600 °C	tratamientos de superficie 100 a 600 °C
tipo de baño fluidizado *(en capitales se recomienda)	gas/eléctrico	gas/eléctrico	gas/eléctrico	eléctrico
Equipo existente a reemplazar	Baños de sales neutras Hornos de carga Hornos de atmósfera controlada	Baños de cianuro Hornos de atmósfera controlada	Hornos a circulación forzada Baños de sales	Baños de sales

*Nota: Estos baños son recomendados por sus consideraciones económicas.

TABLA II

Aplicaciones posibles de la tecnología de los baños fluidizados
a las operaciones de tratamientos en horno continuo

Procedimiento	Elección de los procedimientos		
	temple gama 750 a 1110°C	tratamientos de superficie 750 a 1100 °C	tratamientos isotérmicos revenido 100-750 °C
tipo de baño fluidizado*	gas/eléctrico	gas/eléctrico	gas/eléctrico
Equipo existente a reemplazar	Horno: • con picos rotativa • sacudida • correa metálica	Horno: • correa metálica • con picos rotativa	Horno: • correa metálica • sacudida • baño de sales

Esto fué explicado para el enfriamiento más drástico en los puntos de entrada en el baño fluidizado entonces se produce un sobre calentamiento local apreciable en el baño de nitratos o de plomo. Esto es particularmente apreciable en el enfriamiento de alambres gruesos o al sobrecalentamiento local siendo de 40 a 50°C e igualmente describe para un taller que debe producir 4 toneladas por hora. Y señala un mejoramiento de la superficie con una instalación de hornos más bien cortos.

Una planta funcionando en Belgica confirma esta observación

El horno comprende un baño calentado interiormente con 6 m de largo y 0,6 m de ancho y recibe 2,5 toneladas/hora de alambre entre 1,6 y 3,2 mm de diámetro con un consumo de 56 termias/hora. Estos alambres son recibidos a la velocidad de 36 y 9 m/min respectivamente.

Si los resultados metalurgicos satisfacen y como se domina bien el acabado superficial, y el no pasar dificultades con los talleres de galvanización en continuo que sigue inmediatamente a el baño fluidizado.

Una linea completa de tratamiento es mostrada en la figura 14, o un baño caliente análogo al descrito aqui arriba, este siguiendo el acceso para un baño "super frío" más cerca de la temperatura ambiente después por un baño más largo fluidizado por los gases calientes provenientes de un baño más regulado a 450 550°C por adición de aire ambiente. La temperatura de cada zona esta regulada automáticamente y el proceso de arranque es automático con todos los dispositivos de seguridad necesarios. Por ejemplo, un taller de 1,5 toneladas/hora funcionando con un máximo de 36 termias/hora con una velocidad de los alambres de 0,8 a 1,6 mm de diámetro la longitud total del taller será de 20 m.

Cuatro hornos recientemente entregados a la Santa BICC para la recirculación de fleje de cobre con una zona caliente seguida de un temple continuo fluidizado (ver fig 23) analoga a los utilizados para el tratamiento.

Las zonas de combustión de estos baños son construidas a partir de la yuxtaposición de tejas de 0,6 por 0,4 m el aire, y el gas estan mezclados por debajo de una cámara de mezcla especial. Estos baños son construidos de tal suerte que se puede regular la producción de aire y gas por cada teja de tal suerte que un gradiente de temperatura puede ser establecido a lo largo del baño, por ejemplo una sección a más alta temperatura a la entrada y una sección se mantiene a temperatura de tratamiento a la salida. Por otra parte, todo el baño puede ser mantenido en los límites de $\pm 10^\circ\text{C}$ y el reglaje de la temperatura puede ser mantenido a la temperatura de tratamiento a $\pm 5^\circ\text{C}$.

Estos baños son construidos en acero inoxidable resistente al calor y

Los soportes de las tejas son enfriados separadamente para evitar toda dilatación que ofrescan dificultades a las juntas de las tejas. Las cotas de la tina de calentamiento justo a la temperatura del baño sin deterioro gracias a las juntas de dilatación, la hoja inoxidable es doble, de un material de lana cerámica. Una campana recubre todo el baño una indidura de 75 mm, estando gobernada por el paso del alambre. A cada extremo existe una zona de depósito de partículas, seguido de un recipiente de recuperación con dos tubos eyectores que regresan las partículas al baño. Los baños son de tipo poco profundo y las partículas, las que son depositadas, se mantienen a 150 mm cuando aquellos ocupen 300 mm funcionando el baño, los alambres pasan a la profundidad de 225 mm. De este modo, la caída de presión en el baño es mantenida a un valor aceptable de suerte que los ventiladores simples pueden ser utilizados y que la tracción sobre el alambre es despreciable. Por consecuencia, el alambre no es más que una débil flecha en el baño y debe ser introducida por debajo del nivel del baño a su más grande altura de funcionamiento.

Un baño fluidizado continuo con correa metálica tejida es mostrado en la figura 24, para la recepción o el temple de pequeñas piezas. La disposición de combustión y de reglaje del baño es la misma que para el horno de alambres, más una correa tejida soporta las pequeñas piezas que pasan a través del baño. Al extremo del baño, las piezas caen directamente a lo largo de un canal aislado en la tina de temple que esta equipada de un dispositivo de ascenso y de un cambiador de calor.

El baño es poco profundo y las partículas se derraman a través de la correa que se mantiene plana. Cualquier partícula es barrida y es recogida en la tina de recuperación y retornan para su uso en el baño principal.

Lo interesante de estos hornos es que no es necesario el tener muy cortos tiempos de estancia para tener un temple completo, los tiempos varían de un minuto para las piezas de 6.3 mm de sección a dos minutos para las piezas de 25 mm. Por consecuencia, el horno puede ser muy corto de 1,22 m de longitud por 0.40 m de ancho en la zona de calentamiento, para templar 360 Kg/h a 900°C. El consumo máximo es de 10 termias/h, esta aquí el bajo precio de costo.

Se espera aplicar este procedimiento a los tratamientos de superficie, puesto que el temple de los tratamientos de cementación en baño fluidizado son muy cortos, como lo visto anteriormente. El tratamiento de cementación deberá ser ahora una realidad.

Además, tal dispositivo evita el empleo de un generador endotérmico.

VENTAJAS Y ECONOMIAS

Las ventajas principales que se pueden tener del empleo de los baños fluidizados son, por rendimiento con los baños convencionales de sales o de metal fundido, de acceso de orden económico y después de menor polución.

La comparación de precios de costo en baño fluidizado tipo horno de carga (dimensiones 0,6 X 0,4 m) con un baño de sales similar es dado en la tabla III. Se estima una producción de 90 Kg/h durante un año normal de 2.000 horas. La automatización a este calculo es de 7 años, como de costumbre en la Comunidad Europea. Bien que estos factores no favorecen el baño de sales con inversión más factible, una economía de 12.000 francos es posible con el empleo del baño fluidizado. A partir de estos factores y en negligencia los gastos suplementarios causados por los baños de sales tales como la extracción de humos, la limpieza y la destrucción de sal, la comparación muestra una economía considerable en el costo de tratamiento por el remplazo del baño de sales por un baño fluidizado, el precio de costo en baño fluidizado es de 0,23 francos que es competitivo y podría ser aún mejorado porque el baño podría tener un producto doble de esta considerando la comparación.

El empleo de esta técnica para el tratamiento continuo de pequeñas piezas tales como los pernos, roldanas y otras piezas análogas, en donde la economía es todavía más grande y se ve en la tabla IV los gastos de tratamiento por el horno de temple con correa metálica que ya fué descrito. En este caso, el calculo se efectua sobre la base de 2.000 y de 4.000 horas por año. A un precio de costo bajo de 0,075 francos es aquí donde la economía es considerable en comparación con los hornos convencionales de la misma capacidad.

Los costos del horno de cementación comparados a los del baño de cianuro son mostrados en la tabla V.

La economía aumentando a los menores riesgos de polución son evidentes.

Una de las ventajas reales de los hornos de este tipo es el calentamiento a un paso muy rápido después de la temperatura ambiente, la ascensión de temperatura de los hornos a carga se realiza en una hora aproximadamente y estos hornos continuos pueden profundizar en una media hora.

El método de construcción habitual es una tina metálica resistente al calor y aislante a la lana de escoria de tal suerte que no afecta al calentamiento de los refractarios o a la reparación. La parte más grande del tiempo de calentamiento se mantienen las partículas a temperatura, y con tiempos muy cortos de arranque, es más práctico el detener los hornos durante la noche.

Las ventajas de los baños fluidizados en lo que concierne a la polución

TABLA III

Costo comparado de tratamientos en baño de sales
y en baño fluidizado

Nº	Capítulo	Baño de sales	Baño fluidizado
	Dimensiones útiles de producción	Diam. 0,45 m - Prof 0,60 m 90 K/h (180.000 K/año)	0,40 X 0,60 m - Prof. 0,30 m 90 K/h 180,000 K/año
1	Gasto en capital	Amortización F/año $= \frac{\text{costo}}{7 \text{ años}} = \frac{14.400}{7} = 2.060F$	$\frac{28.800}{7} = 4.120 F$
2	Gas	Calentamiento al máximo 5 termias X 2h + 3 termias X 8h $\frac{\text{total}}{8 \text{ h}} = \frac{38}{8} = 4,75 \text{ termias/h}$ $4,75 \times 0,96 \times 2.000 = 9.100 \text{ francos}$	Calentamiento al máximo 3,5 termias X 1h + 2,5 X 8h $\frac{23,5}{8} = 2,94 \text{ termias/h}$ $2,94 \times 0,96 \times 2.000 = 5.650 F$
3	Crisol de baño de sales	Vida: 500 horas 4 botes X 1.080 Francos Costo anual = 4.320 F	
4	Consumo de sal o de alumina	13,5 por jornada de 8 hrs $13,5 \times 250 \times 2,65 = 9.000 F$	2,25 K por 8 horas $2,25 \times 250 \times 2,65 = 1.485 F$
5	mantenimiento y coples termo eléctricos	Estimado 3.600 Francos/año 3.600	Estimado 2.400 Francos/año 2.400
6	Mano de obra	12 Francos/hora 24.000	12 Francos/hora 24.000
7	Montaje y aparatos	3.000	3.000
8	Gastos totales	55.080F	40.655F
9	Economía		14.425F
10	Precio de venta del kilogramo de piezas templadas	0,305F/K	0,224F/K

Nota: Se tomará el costo de la termia a 0,96F, la sal y la alumina a 2,65 F/Kg y 2.000 h/año de trabajo

TABLA IV

HORNO DE TRATAMIENTOS CON CORREA METALICA TEJIDA

Nº	Capitulo	Calculos	Gasto por 4000 h/año	Gasto por 2000 h/año
1	Gasto en capital	$\frac{90.000 \text{ F}}{7 \text{ años}}$	12.852 F	12.852 F
2	Gas	8,8 termias X 0,72 X 4.000 X 2.000	25.344 F	12.672 F
3	Mantenimiento	Correa y diversos	7.200 F	4.800 F
4	Mano de obra	12 Francos/hora X 4.000 X 2.000	48.000 F	24.000 F
5	Total		93.396 F	54.324 F
6	Precio de venta por Kilogramo de metal	A 360 Kg/hora	0,064 F	0,075 F

Hipotesis:

Producción media : 360 K/hora

Producción máxima : 450 K/hora

TABLA V

Precio de reventa comparado de la cementación
el baño fluidizado
y el baño de cianuro

Nº	Capítulo	Baño de sales	Baño fluidizado
	Dimensiones del baño y producción	Diam. 0,45 m - Prof. 0,60 m 63 K/h	0,45 m X 0,30 m - Prof. 0,30m 90 K/h
1	Gasto en capital	Amortización F/año $= \frac{\text{costo}}{7 \text{ años}} = \frac{18.000}{7} = 2,571 \text{ F}$	$\frac{46.700}{7} = 7.550 \text{ F}$
2	Gas	8 termias X 2 h + 4 X 8 h $\frac{\text{total}}{h} = \frac{48}{8} = 6 \text{ termias/hora}$ 6 X 0,96 X 2.000h = 11.520 F	3,5 X 1 + 8 X 8 $\frac{67,5}{8} = 8,43 \text{ termias/hora}$ 8,43 X 0,96 X 2.000 = 16.176 F
3	Crisol de baño de sales	Vida: 500 horas 4 botes X 1.080 F Costo anual = 4.320 F	
4	Consumo de sal o alumina y destrucción de sal	16,2 K/jornada de 8h a 2,65 F/Kg 16,2 X 250 X 2,65 = 10.750 F 0,026F/K X 63 X 2.000 = 3.276F	2,25 K por 8h, 2,65 F/Kg 2,25 X 250 X 2,65 = 1.485F
5	Mantenimiento y coples termo eléctricos	Estimado: 2.400 Francos/año 2.400	Estimado: 2.400 Francos/año 2.400
6	Mano de obra	12 Francos/hora 24.000	12 Francos/hora 24.000
7	Montajes y aparatos	3.000	3.000
8	Gastos totales	61.837 F	54.611 F
9	Economía		7.226 F
10	Precio de reventa kilo de metal tratado	$\frac{61.837}{126.000} = 0,49 \text{ Francos}$	$\frac{54.611}{180.000} = 0,30 \text{ Francos}$

Nota: Se tomará el precio de la termia a 0,96 F, la sal y la alumina a 2,65 F/Kg y 2.000 horas/año de trabajo.

de las anteriores necesidades subrayadas. El baño fluidizado, se comporta como un líquido, encontrando su propio nivel y es esencialmente isotérmico, pero como no es un verdadero líquido, no tiene punto de fusión ni punto de ebullición y no es húmedo.

Esta última característica interesa particularmente a su utilización porque evita el arrastre de material con las piezas y resultan inútiles los dispositivos de lavado que acompañan a los baños de sales de plomo.

La conducta de los baños fluidizados es muy simple y los modelos después del horno del taller de herramientas, y por encima de los programas de comienzo automático y los más grandes hornos de tratamiento de alambre pueden arrancar en una hora aproximadamente. Los sólidos fluidizados no corroen ni las piezas ni el horno. Las partículas sólidas están suspendidas con la débil velocidad (0,6 m/seg) y no son abrasivas.

CONCLUSION

El estudio de propiedades térmicas del lecho fluidizado y los progresos realizados en su puesta en obra permite el asegurar favorablemente su desarrollo en la industria de tratamientos térmicos.

El sorprendente coeficiente de cambio que le caracteriza, el permitir velocidades de calentamiento y de enfriamiento, aquellas que no pueden atender las instalaciones clásicas.

Su cubierta de utilización es muy vasta y la estabilidad físico/química del medio fluidizado se extiende a toda la gama de temperaturas de tratamientos térmicos, esto no es para el caso de metales líquidos por el fenómeno de solidificación, de evaporación, o de transformación clásica.

La homogeneidad de temperatura, asociada a la inercia calorífica de este medio, permite la realización de tratamientos precisos a cualquier grado; no importa que este sea calentamiento o enfriamiento, y de hecho es una herramienta simple y técnica, tanto para los tratamientos de recocido, revenido, que para realizar los temple clásicos o isotérmicos.

Las múltiples posibilidades que ofrece el mantenimiento continuo de piezas por elevadas vibraciones, sumergidas en el seno del baño indicadas a diferentes temperaturas, permiten combinar al medio las ventajas del lecho fluidizado y la producción de grandes series, tanto al calentamiento como al enfriamiento, y de realizar así los tratamientos complejos o difícilmente accesibles como el tra-

tamiento de "forja caliente".

Esto es por último conjugando la participación de tratamientos térmicos y de construcción que le aparenta, a partir de lo dado aquí, el explorar el ensamble de posibilidades que ofrece el lecho fluidizado para responder a las exigencias de los tratamientos térmicos modernos.

BIBLIOGRAFIA

JOSE APRAIZ BARREIRO
TRATAMIENTOS TERMICOS DE
LOS ACEROS.
EDITORIAL DOSSAT, S.A.
OCTAVA EDICIÓN, MADRID, 1974.

JOSE APRAIZ BARREIRO
ACEROS ESPECIALES.
EDITORIAL DOSSAT, S.A.
QUINTA EDICIÓN, MADRID, 1975.

SYDNEY H. AVNER
INTRODUCCION A LA METALURGIA
FISICA.
EDITORIAL MCGRAW - HILL.
SEGUNDA EDICIÓN, MÉXICO, 1981.