



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

**CEMENTACION CON CARBONO**

**TESIS PROFESIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

**Ingeniero Mecánico Electricista**

P R E S E N T A

**FROYLAN DIAZ INFANTE VILCHES**

DIR. ING. ARTURO BARBA PINGARRON



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.

# I N D I C E

	PAG.
CAPITULO PRIMERO	
Introducción	
1.1. Generalidades	1
CAPITULO SEGUNDO	
Capa Cementada	10
11.1. Generalidades	
11.2. Espesor de la capa cementada	15
11.3. Medida del espesor de la capa cementada y de la capa dura.	17
11.4. Determinación de los esfuerzos a que está sometida la capa cementada.	20
11.5. Control de capa Cementada.	24
CAPITULO TERCERO	
Cementación con materias sólidas	27
111.1. Cementación con carburante sólido	30
111.2. Tecnología de la Cementación sólida.	32

III.3. Ventajas e inconvenientes de los distintos cementantes.	34
--	----

#### CAPITULO CUARTO

Cementación líquida	36
IV.1. Ejecución y aplicaciones de la cementación en baños de sales.	44

#### CAPITULO QUINTO

Cementación gaseosa	46
V.1. Preparación de gas cementante	50
V.2. Cementantes gaseoso	56
V.3. Ejecución de la cementación en gas	61
V.4. Cementación gaseosa por goteo (Procedimiento carbodripe integral)	62
V.5. Tratamiento térmico de grandes series de engranajes en hornos de cementa--	

	ción gaseosa	63
	V.6. Ejemplos de diversos ciclos de cementación	66
	V.7. Ventajas y aplicaciones de la cementación en gas	72
	V.8. Avances recientes en la cementación	72
CAPITULO SEXTO	VI.1 Defectos en el proceso de difusión de carbón	74
	VI.2. Defectos mas frecuentes en los baños de sales, crisoles y hornos	75
	VI.3. Defectos en el recocido y en el temple.	85
CAPITULO SEPTIMO	Tipos de hornos empleados	97
	VII.1 Elementos de la construcción de hornos	120
CONCLUSIONES	.....	124
BIBLIOGRAFIA	.....	126

# CAPITULO PRIMERO

## INTRODUCCION

### I. 1.- GENERALIDADES.-

1.- Antes de que el hombre primitivo aprendiera a obtener metales de los compuestos químicos minerales, el único hierro empleado era el que se presentaba naturalmente en forma libre, este era siempre hierro meteórico y parece ser que los meteoritos fueron una fuente de hierro para los egipcios antiguos, los que lo llamaban "Metal del Cielo". Aún en 1894, cuando un comandante exploraba Groenlandia, un esquimal le mostró los restos de un enorme meteorito, con peso aproximado de 40 toneladas, que probablemente había suministrado durante 100 años a los cazadores esquimales, utilizándolo en las armas para sus actividades.

Actualmente nos ocupamos solamente del hierro tal y como se presenta combinado con otros elementos en la naturaleza. Estos minerales constituyen nuestra fuente actual de suministro.

El comercio del hierro y del acero en Inglaterra constituye una historia bastante romántica incluyendo los éxitos de los iniciadores. No hay que olvidar, sin embargo, que en el Oriente, posiblemente en la India, se llevó a cabo la producción de acero en cierta forma, muchos siglos antes que en la Gran Bretaña, y que el comercio del hierro fue introducido en Inglaterra por los Romanos. En tiempos de los Romanos se desarrolló en Sussex el comercio del hierro a partir de mineral local y carbón fabricado de los árboles del bosque de Ashdown. En este

estado permaneció la industria hasta que la deforestación de la tierra se hizo tan grave que, para poder contar con madera para la construcción de barcos fueron promulgadas Leyes por Isabel I y otros monarcas, limitando la tala de árboles para la producción del hierro.

2.- Todos los ingenieros estamos íntimamente ligados con los materiales de que se dispone. Ya sea el producto un puente, una planta eléctrica, un vehículo espacial o un automóvil, el ingeniero deberá conocer a fondo las propiedades y características del comportamiento de los materiales que se propone emplear. Además, deberá tomar en cuenta propiedades tales como ductibilidad, maquinabilidad, estabilidad mecánica, duración química, comportamiento eléctrico y alteración por radiación.

Por ejemplo el acero de un piñón de transmisión deberá poderse maquinar fácilmente durante su producción y después deberá ser tratado de tal forma que tenga la resistencia adecuada para soportar el uso severo.

La mayor parte de las piezas que componen las máquinas y motores, se fabrican de forma que sus propiedades mecánicas sean bastante uniforme en toda la masa. Sin embargo, en ciertos mecanismos es necesario que algunas piezas tengan superficies muy duras, resistentes al desgaste y a la penetración, y el núcleo central muy tenaz, para poder soportar los choques a que están sometidos.

La cementación, que es el más antiguo de todos esos procedimientos de endurecimientos superficiales; consiste en aumentar el contenido en carbono de la superficie de las piezas de acero.

rodeándolas con un medio carburante y manteniendo todo el conjunto, durante un cierto tiempo a elevada temperatura, luego se templan las piezas y quedan con gran dureza superficial.

Se puede emplear cementantes sólidos, líquidos y gaseosos, oscilando la duración de la cementación de 6 a 10 horas cuando se utilizan cementantes sólidos, de 1 a 6 horas cuando se trata de sales o cementantes líquidos y de 1 hora a varios días utilizando cementantes gaseosos.

Se emplean aceros aleados y sin aleación, de bajo contenido en carbono, generalmente de 0,08 a 0,25 % de C y excepcionalmente algunas veces se cementan también aceros hasta de 0,40 % de C.

La operación se realiza generalmente a temperaturas comprendidas entre 850° y 1,000°, siendo las temperaturas próximas a 900° las más utilizadas.

En el proceso de cementación se pueden distinguir dos etapas distintas: 1ra. absorción del carbono por el acero, y 2da. - mejoramiento de características por medio de tratamientos térmicos adecuados.

La cantidad y distribución del carbono absorbido por las piezas depende: 1o. De la composición del acero sometido a la cementación. 2o. De la naturaleza de la substancia cementante, y 3o. De la temperatura y de la duración de la cementación.

Una pieza después de cementada se puede considerar compues-



ta por dos zonas principales de composición química diferente; - el alma o núcleo central y la periferia o capa cementada, existiendo entre ellas otra tercera zona de transición de menor importancia.

Por quedar después de la cementación, la capa exterior con un alto contenido en carbono y el corazón con la composición -- inicial, es posible obtener luego gran dureza en la periferia y alta tenacidad en el núcleo. Pero, como sólo con la cementación las piezas no adquieren esas propiedades, es necesario darles -- después tratamientos térmicos adecuados. Después de la cementación, la periferia a pesar de tener un elevado contenido en --- carbono, está todavía relativamente blanda y el núcleo central, aún siendo de muy bajo contenido en carbono, puede ser frágil -- por tener la estructura muy grosera, por haber permanecido el -- acero durante mucho tiempo a alta temperatura.

Como la periferia y el núcleo central de las piezas cementadas son de distinta composición, necesitarán diferentes tratamientos, pero como ambas son inseparables, esos tratamientos -- deberán ser de tal naturaleza, que actúen favorablemente sobre las dos partes, o que si favorecen a una, sean lo menos desfa-- vorables para la otra.

Entre los diversos factores que deben tenerse en cuenta -- para la elección de uno u otro tipo de acero de cementación, -- los más importantes a considerar son tres: lo. La forma o tamaño de las piezas que se van a fabricar junto con las toleran--- cias de dimensiones que se exigirán a las piezas después del -- temple ( ya que en función de las tolerancias que se admiten en

Las deformaciones, se decidirá si el temple se debe hacer en -- agua, en aceite o por algún otro procedimiento y, en consecuencia, estas condiciones servirán, en gran parte, para señalar -- los elementos de aleación que debe tener el acero ). 2o. La --- resistencia que deben tener las piezas en el núcleo central; y- 3o. El precio que se puede llegar a pagar por el acero.

A pesar de ser las circunstancias que acabamos de señalar-- las más importantes para la selección de los aceros de cementación, en la actualidad en muchos talleres se hacen todavía la - selección por sentimiento o preferencia personal hacia una composición química, más o menos conocida. Esta es una de las causas por la que, a veces, por no valorar debidamente las circunstancias, que antes hemos citado, decisivas en el proceso, no se obtienen buenos resultados en determinadas fabricaciones.

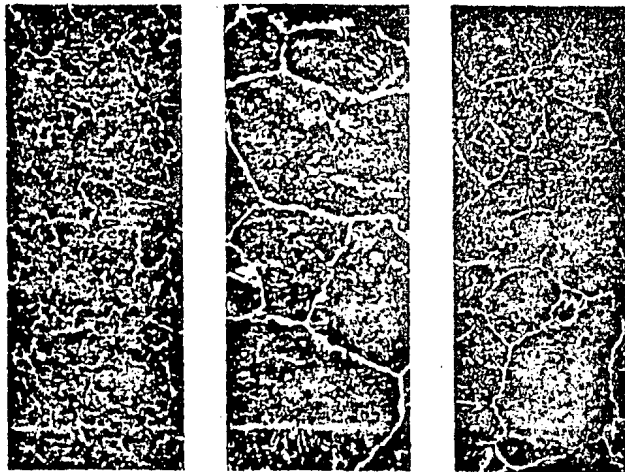
Los aceros de cementación, de acuerdo con los elementos de aleación que contienen, se pueden clasificar en tres grupos: -- 1ro. Aceros al carbono; 2do. Aceros de media aleación; y 3ro. - Aceros de alta aleación.

Por la resistencia y tenacidad que se puede llegar a alcanzar en el núcleo central de las piezas cementadas, se pueden -- clasificar en otros tres grupos: 1ro. Aceros de gran tenacidad- y baja resistencia, en los que no se suele dar en general gran- importancia a la resistencia; con ellos se suele obtener en el- núcleo central alargamientos superiores a 14%, resistencias superiores a  $12 \text{ Kg/mm}^2$  y resistencia; variables de 60 a  $80 \text{ Kg/mm}^2$  2do. Aceros de resistencia y tenacidad media, con resistencias- en el núcleo variables de 80 a  $110 \text{ Kg/mm}^2$ , y 3ro. Aceros de al-

ta resistencia en el núcleo central con resistencia variables de 110 a 160 Kg./mm<sup>2</sup>.

Por el método de realizar el temple se pueden clasificar en: 1o. Aceros de temple al agua; 2o. Aceros de temple al agua o al aceite (Utilizándose uno u otro método de enfriamiento según sea el espesor de la pieza); y, 3o. Aceros de temple al --- aceite.

Finalmente, por el tamaño de grano o aptitud de crecimiento del grano durante el calentamiento que se realiza en la cementación, se pueden clasificar en : 1o. Aceros de grano grueso; tamaño de grano del No. 1 al 4; 2o. Aceros de grano medio; tamaño de grano del No. 5 y 6; 3o. Aceros de grano fino; tamaño de grano del No. 7 y 8 (Ver figura 1).



a) Grano fino  
b) Grano grueso  
c) Grano mixto  
Microfotografías de tres aceros de cementación que presentan en la capa cementada, tamaños de grano muy diferentes.

3.- La cementación consiste en carburar una capa superficial del acero, rodeándola de un producto carburante y calentándola a temperatura adecuada.

El mecanismo de la operación consiste, en primer lugar, en la producción de carbono nascente, junto a la superficie del Acero. La segunda etapa es la absorción y disolución del carbono en el acero; y la tercera es la difusión del carbono hacia la zona central de la pieza. Estas tres etapas se realizan simultáneamente.

Para que se produzca la disolución del carbono y posterior difusión, es necesario que el acero esté en estado austénico, ya que el hierro disuelve fácilmente cantidades grandes de carbono, por lo tanto, se requerirá que las piezas alcancen y se mantengan a temperaturas por encima del  $A_{c3}$ , dado que los aceros de cementación tienen un contenido bajo en carbono.

Una vez terminada la operación, se temple y reviene la pieza, quedando con gran dureza superficial y buena tenacidad en el núcleo.

Los aceros empleados son de bajo contenido de carbono, superior a 0,030 por ciento, utilizándose también aceros aleados con níquel, cromo y molibdeno, especialmente adecuados para la cementación.

La cementación es exactamente el proceso mediante el cual se realiza la carburación de la capa externa de las piezas por mantenimiento a una temperatura superior al punto de transforma-

ción Ac3 (850° a 950° C). En este caso el carbono al principio se difunde en la red cristalina del hierro  $\gamma$ . Al alcanzar la saturación límite de la Austenita con carbono ( que se determina por la línea SE en el diagrama como se muestra en la figura 2 ), en la superficie se puede formar una capa densa de cementita.

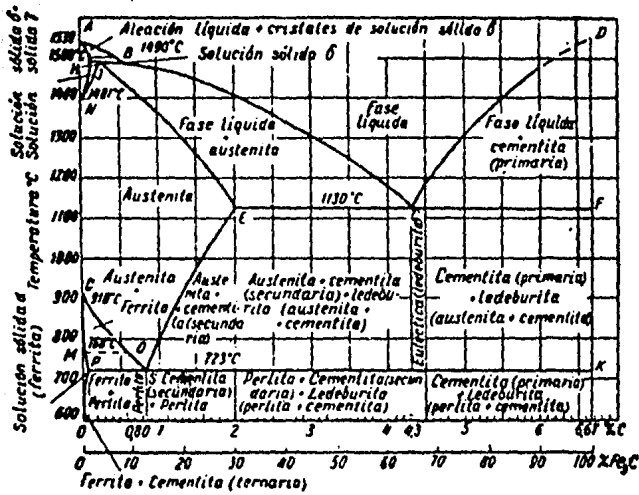


Diagrama de estado hierro — carbono.

FIGURA ( 2 )

En las condiciones reales de cementación, la formación de la capa de cementita en la superficie se observa raramente. En las condiciones comunes, durante la cementación sobre Ac3 se forma solamente austenita, luego de un enfriamiento lento, los productos de su descomposición (Ferrita y cementita).

Los resultados alcanzados en la cementación pueden comprobarse determinando el contenido de carbono alcanzado en capas

situadas a diferentes distancias de la superficie externa y obteniendo la curva de cementación o de penetración de la cementación. ( Como se puede observar en la figura 3 ).

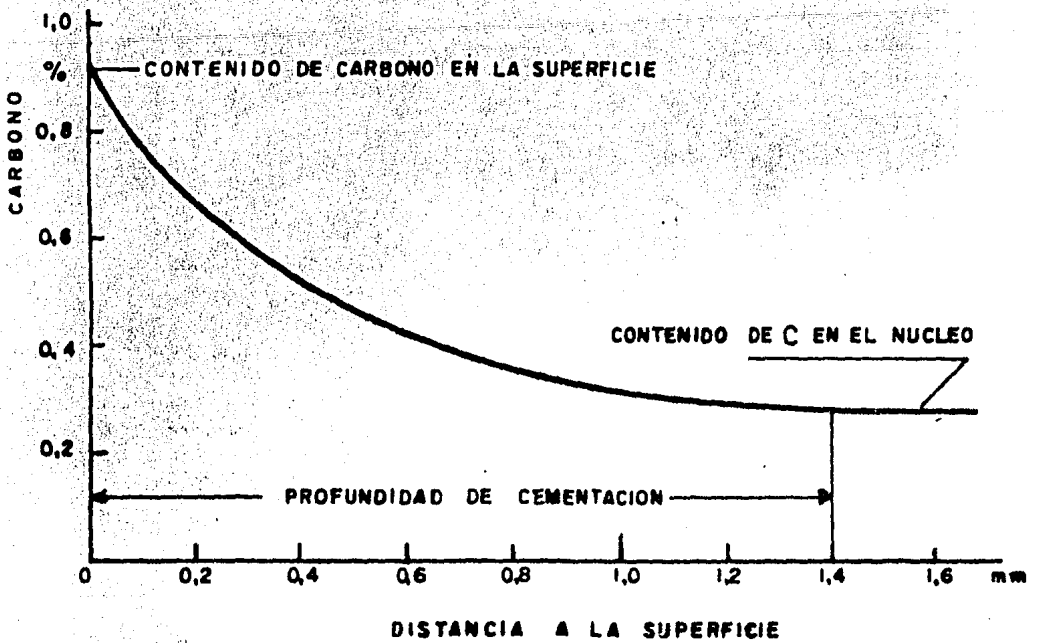


FIGURA ( 3 )

En la curva de cementación se reflejan los contenidos de carbono de la capa externa y del núcleo, la profundidad de la cementación y las características de la penetración del carbono

## CAPITULO SEGUNDO

### CAPA CEMENTADA

#### II. 1.- GENERALIDADES

Se le da el nombre de la capa cementada a la zona que después de la cementación queda con un contenido de carbono superior a la del acero y recibe el nombre de capa dura la zona superficial que después del último tratamiento queda con una dureza superior a los 58-60 Rockwell-C y que suele corresponder a la zona cuyo porcentaje de carbono es superior al 0,50 - 0,80% del C.

No obstante que de unos casos a otros hay bastantes diferencias, se puede considerar que en la mayoría de las piezas -- cementadas el espesor de la capa dura varía de la cuarta parte a la mitad o sea, de 0,25 a 0,5 de la profundidad de la capa -- cementada.

En algunas ocasiones al hacer referencia a la profundidad de la capa cementada se señala según convenga la capa con carbón superior a 0,3 ó 0,5% de carbón. Como se indica en la figura (4).

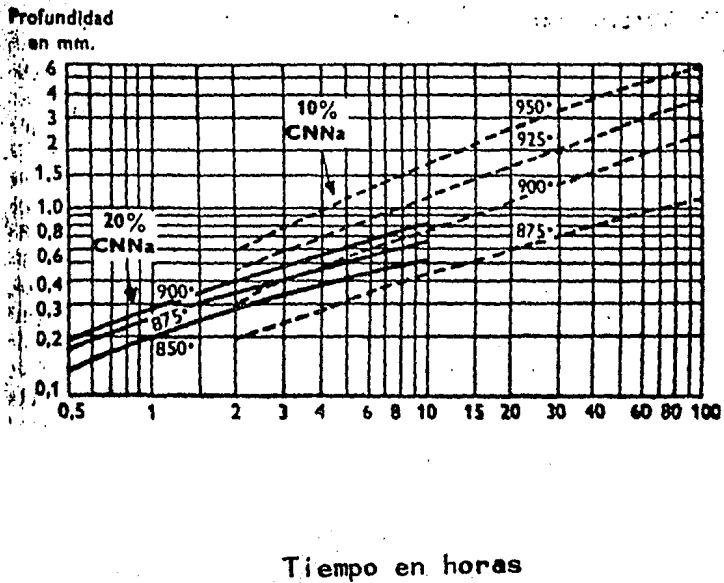


Figura ( 4 )

Esto se hace porque en ocasiones ese espesor es casi aproximadamente el de la capa dura.

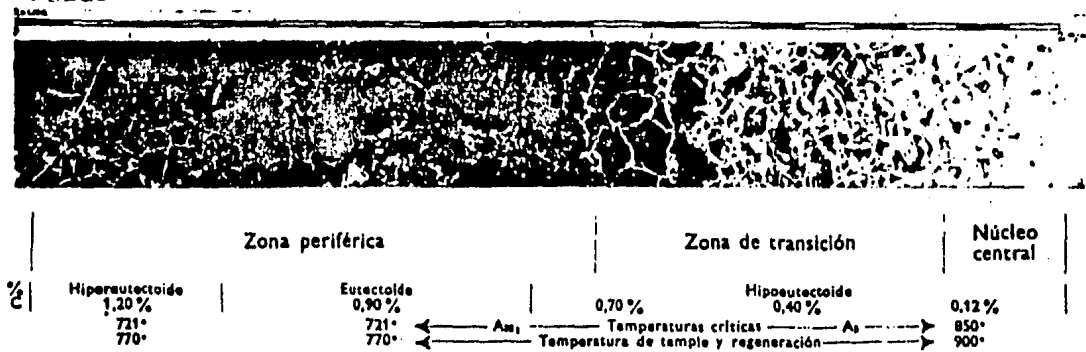
Cualquiera que sea el proceso que se emplee, conviene que el contenido en carbono de la capa cementada no rebase de 1%, -- pues a partir de esta cantidad se forman carburos y redes de cementita que debilitan la capa cementada y tiende a descascarse.



Cuando el contenido en carbono de la zona periférica es superior a la composición eutectoide de 0,90% de carbono --- suelen aparecer redes de cementita ( figura 5 ) o de carburos que pueden hacer frágil a la capa cementada y con tendencia a descascarillarse.

En estos casos conviene dar a las piezas después de la cementación un recocido de difusión a 800° -900° en una atmósfera o baño apropiado para disminuir el porcentaje de --- carbono en la periferia. Con este tratamiento se uniforma --- bastante el contenido en carbono y se evitan posibles des --- conchamientos en las piezas cementadas.

La proporción de carbono de la capa cementada aumenta --- con la temperatura de cementación, pudiendo llegar hasta --- 1.76% de carbono a 1130° . En general, las proporciones de --- carbono que se consideran más adecuadas oscilan entre ----- 0,50 a 0,90 % con lo que se consigue después del temple du --- rezas



Cementación a 925° con 60 % de carbón de madera y 40 % de carbonato bórico, durante 10 horas, de un acero de 0,12 % de carbono.

FIGURA ( 5 )

de 60 a 65 Rockwell-C, debe procurarse que la parte periférica de la pieza después de ser rectificadas, quede aproximadamente con 0,8 a 0,9% de carbono, con lo que se obtiene en el temple una dureza de la cual ya se ha hecho mención que es aproximadamente el límite de dureza en que la lima ya no marca al acero.

El porcentaje en carbono de la capa cementada depende del cementante utilizado y de la temperatura de cementación. Por estas razones la temperatura máxima para los aceros dulces es de unos 930° C, variando según sea el cementante utilizado.

Determinados cementantes no ceden más que el 0,7 ó 0,8% de carbono a la temperatura de 930°C, mientras que otros dan hasta 1,3 a 1,4% de carbono. Este elevado contenido de carbono en la capa cementada no es grave cuando se trata de cementar aceros sin aleación, con la condición de que el porcentaje de carbono decrezca regularmente hacia el núcleo, y que el acero sea tratado convenientemente al final del ciclo de cementación, evitando la deposición de cementita en las juntas de los granos.

La duración de la cementación depende de las propiedades del agente cementante y del comportamiento en la cementación del acero y varía con la profundidad de cementación requerida.

En la cementación en caja, y hasta 1 mm de profundidad de capa cementada, se calcula con una penetración de la carburación de 0,1 mm/h; para más de 1 mm, con 0,05 mm/h, aproximadamente.

Las características del acero están determinadas en primer lugar por la composición química y el coeficiente de difusión. - Ciertos elementos presentes en el acero, tales como Cr, V y W, - forman en la cementación carburos, por lo que se retrasa la difusión del carbono hacia el núcleo y aumenta el contenido en la capa externa. Con el fin de evitar una carburación excesiva de la capa cementada en los aceros aleados para cementar, hay que recurrir al empleo de cementantes suaves.

La capa cementada es conveniente que presente un contenido en carbono lo más alto posible, ya que la dureza a obtener en función directa de la concentración en carbono; sin embargo; es necesario no sobrepasar la concentración correspondiente al eutectoide, ya que entonces aparecería después del temple segregaciones reticulares de cementina no deseables, dada la elevadísima dureza del mencionado microconstituyente y, por lo tanto, la gran fragilidad que presenta.

Y por último, es necesario que en el sentido de periferia a núcleo exista una progresiva disminución del contenido en carbono de la capa cementada, o lo que, dicho en otras palabras, es necesario que haya una correcta difusión del carbono a través de la capa cementada.

Una vez conseguida esta capa cementada, es necesario conseguir la capa dura, ya que, como capa cementada, se entiende aquella zona periférica cuyo contenido en carbono es superior al acero, y capa dura es aquella cuya dureza es superior a las unidades Vickers.

La consecución de la capa dura se realiza mediante el temple, en el cual hay que observar una serie de reglas para obtener superficies correctas.

En primer lugar, hay que realizar el calentamiento en un medio, que impida la alteración de la capa cementada, ya que, en caso contrario, se producirían una disminución del contenido en carbono y, por lo tanto, la dureza obtenida sería notablemente inferior, resultando piezas con poca capacidad de resistencia al desgaste.

Por otra parte, en los aceros aleados, especialmente con medianos y bajos contenidos en níquel, es necesario proceder en el calentamiento anterior al temple a unas temperaturas muy exactas, y con tiempo de mantenimiento muy ajustado, ya que si no operamos así, inevitablemente obtendremos austenita retenida, que origina pérdida de dureza superficial, y existencia de puntos blandos.

Y por último es necesario elegir un medio de enfriamiento que, frente al acero que vamos a templar, presente la adecuada severidad de temple, ya que si no la alcanza, no conseguiremos endurecer superficialmente el acero, y si la sobrepasa notablemente conseguiremos capas sometidas a tener fuertes tensiones especialmente si la difusión del carbono en la capa no es correcta que la capa endurecida se autodestruye.

## 11.2.- ESPESOR DE LA CAPA CEMENTADA.

Los espesores de las capas cementadas que normalmente se emplean en las piezas de máquinas y motores, se pueden clasificar en tres grupos: a) Capas delgadas, b) Capas medias, y c) Capas de gran espesor.

a).- Capas delgadas con menos de 0,50 mm de espesor de cementación. Estas profundidades de cementación se utilizan-- espesores inferiores a 0,50 mm para piezas pequeñas que no -- han de sufrir rectificado posterior, endurecidas generalmente con sales de cianuro y templadas directamente desde la temperatura de cementación.

b).- Capas medias de 0,50 a 1,50 mm. Estos espesores -- son los más corrientes para la mayoría de las piezas que se-- utilizan en la fabricación de máquinas y motores. Se puede -- emplear cementantes sólidos, líquidos o gaseosos, con aceros-- al carbono, débilmente aleados o de alta aleación.

c).- Capas de gran espesor, superiores a 1,50 mm son obtenidas, generalmente, por cementación con materias sólidas y -- con cementantes gaseosos y algunas veces, aunque más raramente, con cementantes líquidos. Las chapas de blindaje que suelen fabricarse con capas cementadas de 3 a 4 mm son cementantes con gases.

El espesor de la capa cementada depende, además de la -- composición del baño, de la temperatura y sobre todo, de la -- duración del tratamiento. Ver figura ( 6 ) .

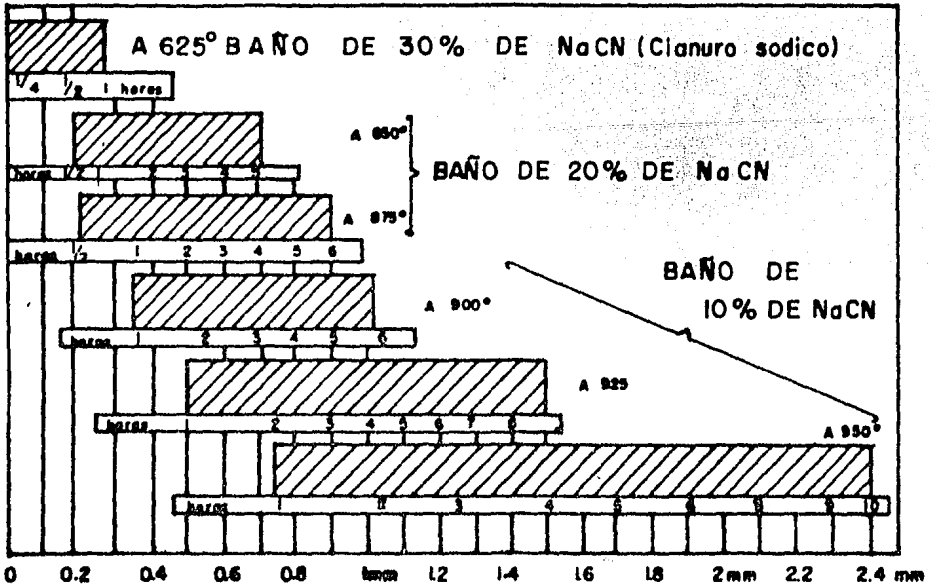


Figura ( 6 )

Debe recubrirse la superficie de los baños con escamas de grafito u otro producto que impida su oxidación.

### 11.3.- MEDIDA DEL ESPESOR DE LA CAPA CEMENTADA Y DE LA CAPA DURA.

Para conocer en los procesos de cementación, la penetración del carbono, se pueden emplear varios procedimientos.

El más sencillo consiste en cementar junto con las piezas, dos o tres varillas, del mismo material, de 6 a 12 mm de diámetro. Después de cementadas se templan a 800 °C, en agua y se rompen, pudiendo observarse en la fractura una capa periférica dura, que presenta un grano mucho más fino que el núcleo cen-

tral y que señala con bastante aproximación la penetración del carbono. Al mismo tiempo se puede conocer si ha crecido o no el grano del núcleo central durante la cementación.

Otro método consiste en cortar las varillas después de cementadas, pulir las secciones transversales y atacarlas durante treinta segundos con ácido nítrico al 5%. Las zonas cementadas se ennegrecen y se puede medir con más precisión que en el caso anterior el espesor de esas zonas, que tienen un contenido en carbono superior a 0,50%.

En el experimento microscópico se estudia con gran claridad el avance de la cementación. Un procedimiento muy empleado, consiste en cortar las piezas o probetas cementadas, después de la cementación y antes del temple final, rectificando y puliendo luego la sección transversal. Se ataca con Nital-5 y se mide el espesor del anillo periférico de color negro, que corresponde a la capa cementada, con un microscopio de retícula graduada, empleando 10 a 50 aumentos. Las estructuras recocidas de los aceros cementados, que son de tipo perlítico, son las que dan mejor idea del proceso y son también las más claras y más fáciles de observar. Para estudiar el avance de la cementación, basta en general con pocos aumentos (es suficiente con 10 a 100 aumentos).

El análisis químico da también una idea muy exacta de la operación. Para realizarlo, conviene utilizar unos cilindros del acero que se quiere estudiar, de 15 a 20 mm de diámetro y 100 a 200 mm de longitud, que después de cementados con el res-

to de las piezas, son torneados con ligeras pasadas de 1/10 mm -  
Recogiendo y analizando la viruta de cada uno de los escalones, -  
se conoce perfectamente la distribución del carbono en el acero.

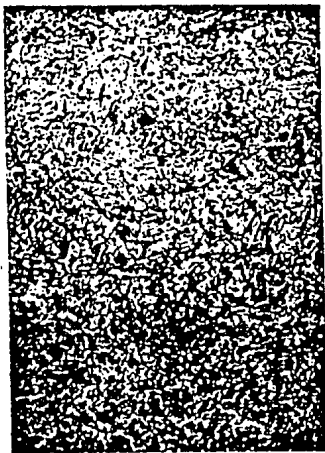
A continuación se explica un método para determinar la pro-  
fundidad de la capa dura. Este ensayo se hace cementado y tem-  
plando una varilla cilíndrica de 100 mm de longitud y de 10 a--  
30 mm de diámetro, de la misma clase de acero con que se han --  
fabricado las piezas, a la que se hace un rectificado ligera--  
mente cónico, de forma que en uno de los extremos se conserve--  
el diámetro inicial, y en el otro desaparezca completamente la-  
capa cementada. Se hacen durezas a lo largo de toda la genera--  
triz, y se anotan los resultados. Se observará que la dureza va  
ría de un extremo a otro, existiendo una zona de máxima dureza,  
en la que los resultados son casi constantes. El espesor de esa  
zona señala la profundidad de la capa dura.

Los resultados que se obtienen al hacer el ensayo en la---  
forma señalada varían según sea la máquina de dureza empleada.-  
Si se emplea máquina Vickers el espesor que se obtiene para la-  
capa, con dureza superior a 700 Vickers por ejemplo, será ma---  
yor cuanto menor sea la capa empleada. Esto es debido a que al-  
emplear las mayores cargas la punta del diamante llega antes --  
a la zona blanda que cuando se emplean cargas pequeñas. Para --  
piezas cementadas destinadas a la fabricación de automóviles --  
y máquinas ligeras, es muy utilizada la dureza Rockwell-C y se-  
consideran aceptables los espesores que con la carga de 150 Kg -  
dan cifras Rockwell-C superiores a 62.



Otro método para determinar el espesor de la capa dura, es el microscopio. Se cortan transversalmente las piezas a ensayar y se hacen ensayos de microdureza como se muestra en la figura ( 7 ) observando a partir de qué punto la dureza del material es inferior a 700 ó 750 Vickers por ejemplo.

En los ensayos de microdureza suelen emplearse cargas variables de 10 a 150 gramos.



$\times 100$   
Ensayo de microdureza Vickers en la sección transversal de un acero cementado y templado. Se hicieron 7 huellas Vickers, algunas de las cuales son difíciles de observar con 100 aumentos.



$\times 300$   
Ensayo de microdureza Vickers en la sección transversal de un acero cementado y templado

Figura ( 7 )

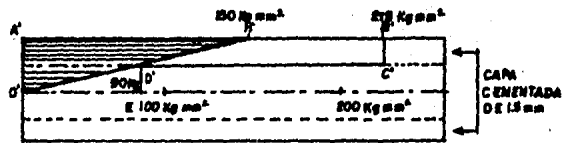
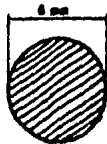
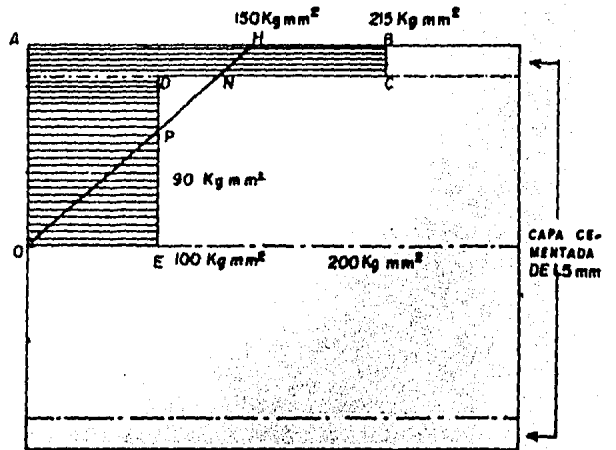
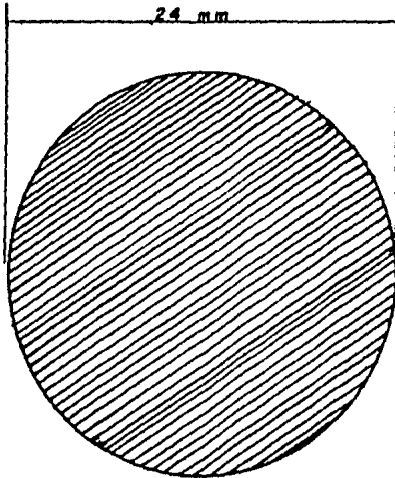
#### II. 4.- DETERMINACION DE LOS ESFUERZOS A QUE ESTA SOMETIDA LA CAPA CEMENTADA.

El espesor de la capa cementada más conveniente en cada caso, varía mucho de una pieza a otra y depende de las dimensio

nes, forma y condiciones de trabajo, variando desde dos o tres--  
décimas de milímetro hasta varios centímetros. En la mayoría --  
de las piezas de automovilismo, maquinaria, aviación, etc., ---  
se usan espesores de 0, 5 a 1, 5 milímetros. El espesor de capa  
cementada se fija todavía en la actualidad, en casi todos los--  
casos empíricamente, tomando como base la experiencia de otras--  
fabricaciones anteriores. Entre los estudios que se han hecho--  
recientemente sobre las reparticiones de esfuerzos en las pie--  
zas cementadas destacan los realizados por Woodvine, que ha --  
ideado un método muy ingenioso para determinar, en función de--  
los esfuerzos a que están sometidas las piezas, el espesor que--  
debe tener la capa cementada. Basa su teoría, en que los esfuer--  
zos que se desarrollan en las diferentes fibras de las piezas--  
durante el trabajo que deben soportar son proporcionales a las--  
distancias de cada una de ellas al eje neutro. Indica también--  
que en la mayoría de las piezas cementadas la zona más débil --  
se encuentra justo debajo de la capa cementada.

Si las piezas son pequeñas y la profundidad de cementación  
es relativamente grande con relación al espesor de las piezas--  
no hay dificultades. Pero en el caso de que las piezas sean de  
bastante espesor, hay que estudiar la profundidad de la capa --  
cementada y la resistencia del núcleo para evitar que las ten--  
siones sean superiores a la resistencia del material y se rom--  
pa la pieza en esa zona débil.

En la figura ( 8 ) se muestra la repartición de esfuerzos--  
en dos piezas cementadas; una correctamente calculada, y la ---  
otra con poco espesor de capa o poca resistencia en el núcleo--



DIAGRAMAS DE ESFUERZOS A DOS PIEZAS CEMENTADAS, DE 24 Y 6 mm DE DIAMETRO

SOMETIDAS A FLEXION

Figura ( 8 )

Considerando que después de terminadas las piezas han quedado con una resistencia de  $215 \text{ Kg/mm}^2$ , en la periferia, y  $90 \text{ Kg/mm}^2$ , en el núcleo, las tensiones máximas que pueden soportar los diferentes puntos de las piezas vienen señalados por las abscisas de las zonas ABCDEO y A' B' C' D' E' O'. Si las piezas trabajan a flexión y están sometidas a cargas que originen tensiones en la periferia de  $150 \text{ Kg/mm}^2$ , la repartición de tensiones se hará linealmente en la periferia al centro (AHO y A' H' O'), pudiendo apreciarse que en el redondo de 24 mm hay una zona (DPN) justo debajo de la capa cementada, en la que las tensiones originadas son superiores a la resistencia del material, y por tanto, este se romperá. En la pieza pequeña, en cambio, al ser en todos los puntos las tensiones inferiores a la resistencia del material, no hay peligro de rotura.

En la pieza de 24 mm las abscisas de la zona rayada representan las tensiones máximas que es capaz de soportar la pieza, y en la pequeña, el triángulo rayado representa la repartición de esfuerzos, cuando actúa una carga que origina una tensión en la periferia de  $150 \text{ Kg/mm}^2$ .

En la práctica, los esfuerzos a que están sometidas las piezas, difieren de los teóricos calculados por el método que acabamos de citar, debido a las tensiones que se crean en las piezas después de los temple que siguen a la cementación. Esas tensiones residuales actúan en algunas zonas en el mismo sentido que las que se desarrollan por efecto del trabajo normal de la pieza, y en otras actúan en sentido contrario.

También pueden ocurrir, en algunas piezas, en que las su superficies deben soportar fuertes presiones, que aún siendo -- la capa exterior muy dura, si tiene poco espesor, aplaste el material del núcleo que tiene poca resistencia y se rompa y -- salte la capa periférica.

En la industria del automóvil las presiones máximas admitidas sobre la periferia de piezas cementadas de cierta responsabilidad, varían de 125 a 150 Kg/mm<sup>2</sup>.

Para conocer el grado de tenacidad de la capa cementada, algunas veces se suele someter a las piezas cementadas al ensayo Brinell, y luego se observa el efecto que a causado. Cuando la capa periférica es frágil, se agrieta o salta, y cuando es tenaz permanece bien adherida, observándose nada más -- la huella correspondiente.

## 11. 5.- CONTROL DE CAPA CEMENTADA

El control de la capa cementada puede efectuarse de la -- siguiente manera:

- a) Por examen de la rotura sin pulido ni ataque
- b) por macroscopía
- c) Por micrografía

a) El examen por rotura sin ataque da el espesor de la cementación más o menos exacto según sea el tamaño del grano --

existente en la zona carburada y en el núcleo. Se pueden apreciar con más exactitud, si la probeta quebrada es calentada--- hasta que la capa cementada por efecto de su alto contenido de carbón coge una coloración azul, mientras que el núcleo da una coloración amarillo tostado. Para apreciar las décimas alcanzadas se recurrirá a una lupa graduada de unos 5 aumentos.

b) Macroscopía sobre la rotura ( sin pulir o pulida) . Se pueden atacar con el siguiente reactivo: Alcohol desnaturalizado 100 C.C., Acido Nítrico 2 C.C.

Seguidamente después del ataque la probeta es enjuagada con agua y secada con alcohol. La zona cementada tomará una coloración negra ( se recomienda el pulido de la parte correspondiente a la rotura).

c) Micrografía. Por este procedimiento se puede determinar la disminución del porcentaje de carbono de la capa cementada, particularmente en los aceros dulces. Para un examen micrográfico correcto es necesario efectuarlo con el cuerpo de prueba salido directamente del medio cementante y enfriando al aire. Si la prueba se efectúa con la probeta templada seguida de un recocido, no señalará la estructura conseguida inicialmente después de la cementación.

Si la estructura es hipereutectoide, puede sufrir una difusión del carbono por efectos del temple y recocido, desapareciendo de la superficie la cementita, dando en consecuencia una mala interpretación del proceso de cementación. El ata---

que se hace primero con ácido pícrico ( Picral) y seguidamente con picrato de sosa; este ataque permite al mismo tiempo averiguar si existe cementita libre. Con 200 aumentos, bastará para efectuar el examen microscópico.

## CAPITULO TERCERO

### CEMENTACION CON MATERIAS SOLIDAS

Con este proceso se utilizan diversas materias para su ministración el carbono que ha de absorber el acero durante la cementación. Las más empleadas suelen ser el carbón vegetal, el negro animal, huesos calcinados, cuero, coke., etc. mezclados con carbonato de bario, calcio y sodio.

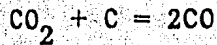
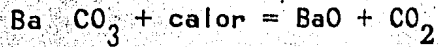
El carbón solo, no se emplea porque con él no se suelen conseguir concentraciones de carbono en la periferia del acero superiores a 0,65% de C. Mezclándolo en cambio con carbonatos alcalinos o alcalinos-térreos, se alcanza hasta 1,20% de carbono.

Uno de los cementantes más utilizados es la mezcla de carbón preparada con 60% de carbón vegetal y 40% de carbonato bórico. El grosor del granulado cementante, generalmente se estipula entre los 3 y 9 mm, de diámetro y luego se mezcla con el carbonato bórico en polvo. Se ha comprobado que se puede disminuir el contenido de carbonato bórico, obteniéndose muy buenos resultados con porcentajes de 10 a 15%, sin que pierda efecto sensible la acción carburante de la mezcla, bajando en cambio de 8% el rendimiento notablemente. Se suele añadir también un 20% coke como diluyente, porque aumenta la velocidad de penetración del calor a través del compuesto carburante, permite obtener rápidamente temperaturas uniformes en el interior de las cajas y disminuye el costo de la mezcla.

Como activadores también se mezclan con el carbón vegetal,



aceleran la penetración del carbono naciente, el verdadero agente carburante, al facilitar la formación de óxido de carbono -- de acuerdo con las siguientes reacciones:

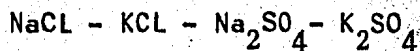


El CO producido se descompone en todos los casos, produciendo carbono naciente  $2\text{CO} = \text{C} + \text{CO}_2$  y el BaO producido reacciona con el  $\text{CO}_2$  obteniéndose nuevamente  $\text{BaCO}_3$ .

Como las mezclas cementantes pierden con el uso su actividad, es necesario renovarlas periódicamente, la mezcla de trabajo, que se emplea para la cementación está formada de 25 a 35% de carburante nuevo y 65 a 75% de carburante utilizado. El contenido de  $\text{Ba CO}_3$  en esta mezcla es de 5 a 7 %, lo que garantiza un espesor máximo de la capa.

Las impurezas que deben de evitarse en la cementación sólida son: El Silicato de sosa, el bórax, el vidrio, la arcilla, la humedad, etc.

Los cuerpos que retardan la cementación son:



Los activadores o aceleradores de la cementación no deberán ser demasiado activos, con la finalidad de que la disminución del carbono en profundidad, sea progresiva.

Todos estos compuestos son altamente absorventes de la humedad, es por lo tanto necesario que sean almacenados en lugares secos, lo más exentos posible de humedad puesto que es uno de los principales factores que entorpecen la cementación.

La acción de los activadores ha sido objeto de muchas discusiones. Según Mahin, la ventaja particular del carbonato de bario reside en el hecho de que libera lentamente anhídrido carbónico de forma continua, durante un largo período a 925°C, temperatura de cementación. Por el contrario, el carbonato de calcio, que es un activador mediocre libera su  $\text{CO}_2$  bastante repentinamente, por debajo de 925°C, de manera que únicamente queda un poco de anhídrido carbónico para continuar la reacción durante el tiempo largo de mantenimiento a 925°C. Universalmente se ha aceptado que el agente cementante real en cementación sólida es el monóxido de carbono gaseoso,  $\text{CO}$ , el cual se forma en principio por reacción del carbón vegetal con el oxígeno del aire contenido en la caja de cementación. El carbono del  $\text{CO}$  penetra en el acero, formándose simultáneamente anhídrido carbónico  $\text{CO}_2$ , el cual se regenera pasando nuevamente a  $\text{CO}$ . Un suministro adicional de  $\text{CO}_2$  en la caja de cementación puede proporcionar así  $\text{CO}$  adicional, por reacción con el carbono (Carbón vegetal) y de esta forma se intensifica la cementación. Haciendo incapié que el carbonato de calcio es un activador fuerte, Mahin aduce la evidencia de que el carbonato de calcio comienza a descomponerse a unos 815°C. Liberando  $\text{CO}_2$  gaseoso, y que se ha descompuesto casi por completo cuando se ha alcanzado incluso rápidamente la temperatura de cementación; el carbonato de bario, aunque se descompone a 925°C, lo hace tan lentamente que proporciona un suministro pequeño pero

constante de  $\text{CO}_2$ . Al liberarse el anhídrido carbónico resulta que en la mezcla sólida queda únicamente el óxido de bario, pero durante el enfriamiento se forma suficiente  $\text{CO}_2$  en la caja como para producir nuevamente carbonato de bario, útil para el ciclo siguiente.

Se ha demostrado la evidencia de los dos puntos interesantes siguientes: a) Que el carbonato de bario es altamente efectivo como activador si recubre directamente la pieza, pero relativamente inefectivo si se sitúa a distancia de ella; por el contrario, la efectividad de los carbonatos de sodio y potasio se extienden por toda la caja; b) La presencia de activadores incrementa el contenido de CO y disminuye el de  $\text{CO}_2$ .

Los activadores actúan incrementando el contenido de CO efectivo en la caja de cementación.

No debe olvidarse la posibilidad adicional de que la liberación de  $\text{CO}_2$  fresco puede actuar como un agitador suave de los gases en contacto inmediato con el acero y ello ayuda a facilitar continuamente la reacción sobre la superficie del acero.

### III.- 1.- CEMENTACION CON CARBURANTE SOLIDO

Las piezas sometidas a cementación, después de una limpieza preliminar se colocan en cajas de acero soldadas o con menos frecuencia, de hierro colado de forma rectangular o cilíndrica. Al colocar la pieza en el fondo de la caja se hecha-

y apisona una capa de carburante de un espesor de 20 a 30 mm . Sobre esta capa se coloca la primera fila de piezas a una distancia de 10 a 15 mm una de la otra y de las paredes laterales de la caja. Luego se agrega y apisona la segunda capa de carburante de un espesor de 10 a 15 mm. Sobre esta capa se coloca la segunda fila de piezas, etc. La última o sea la fila superior de piezas se cubre con una capa carburante de un espesor de 35 a 40 mm para compensar su posible contracción. La caja se cierra con una capa cuyos bordes se recubren con arcilla refractaria o con una mezcla de arcilla y arena de río en agua hasta un estado pastoso. A continuación la caja se coloca en el horno.

La temperatura de cementación es de  $910^{\circ}$  a  $930^{\circ}$  C, .El tiempo de calentamiento hasta esta temperatura es de 7 a 9 Min. por cada centímetro de la dimensión mínima de la caja.

La duración de la exposición a esta temperatura de cementación para una caja con una dimensión mínima de 150 mm es de 5:50 a 6:50 horas para un espesor de la capa de 0,7 a 0,9 mm y de 9 a 11 horas para un espesor de la capa de 1,2 a 1,5 mm con una dimensión mínima de la caja de 250 mm. Para obtener una capa cementada de un espesor de 0,7 a 0,9 mm el tiempo de exposición se toma igual a 7,5 a 8,5 horas y para un espesor de 1,2 a 1,5 mm el tiempo de exposición es de 11 a 14 horas.

El aumento de la temperatura de  $950$  a  $1000^{\circ}$ C con el empleo de carburantes menos activos y de aceros originalmente de grano fino hereditario, no propensos al recalentamiento per

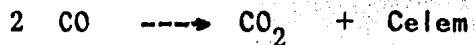
mite acelerar considerable la cementación.

Las cajas, después de la cementación son enfriadas al aire hasta una temperatura de 400 a 500 °C después de lo cual son -- abiertas.

Como se indicó anteriormente, la cementación del acero se efectúa con carbono elemental. Durante la cementación con carburante sólido el carbono elemental se forma en las siguientes -- condiciones:

En la caja de cementación existe aire cuyo oxígeno a altas temperaturas interactúa con el carbono del carburante formando monóxido carbónico.

En este caso el monóxido carbónico en presencia del hierro disocia por la siguiente ecuación:



El carbono separado como resultado de la reacción en el -- momento de su formación es elemental. Este se difunde en la aus tenita. Agregando carbonatos se activa fuertemente el carburante, enriqueciendo la atmósfera en la caja de cementación con -- monóxido carbónico, puesto que tiene lugar la reacción.



### III. 2.- TECNOLOGIA DE LA CEMENTACION SOLIDA

Los cementantes sólidos deberán poseer una buena conducti-  
bilidad calorífica, con la finalidad de poder conseguir una --  
temperatura regular en toda la carga, y con un mínimo de tiempo.  
La pérdida de volumen durante la cementación deberá ser mínima--  
desde el inicio de la operación con el fin de que las piezas de  
la capa superior no queden descubiertas de material cementan--  
te. Por razones económicas el producto deberá poder regenerarse  
y estar exento completamente de humedad, dado que cualquier ves-  
tigio de ella, provocará irremediablemente descarburación y pi-  
cado de las piezas durante la cementación. El grosor del granu-  
lado cementante, generalmente se estipula entre los 3 y 9 mm.,--  
según sean las piezas a cementar. Para engranajes, etc., se uti-  
liza el primero y para piezas de superficies grandes y unifor--  
mes, el segundo. Deben evitarse los cementantes en que la mez--  
cla no sea homogénea. Las distintas densidades del producto ori-  
ginan disposiciones en las piezas dando como resultado final ce-  
mentaciones irregulares.

Un buen producto cementante dará como resultado capas car-  
buradas eutécticas hasta un cierto espesor, seguido de un pro--  
gresivo decrecimiento de carbono.

Para los aceros al carbono, cuando la capa cementada es --  
hipereutectoide más del 0,9 % de C, y que el potencial de car--  
bono decrece progresivamente hacia el núcleo, es posible aún --  
obtener buenos resultados, procediendo después de la cementa--  
ción a un tratamiento destinado a disolver la cementita formada  
en la superficie de la capa cementada, por ejemplo, una difu --  
sión bien ejecutada.

Si por el contrario, el porcentaje de carbono en vez de crecer progresivamente, cae bruscamente después de unas décimas se puede originar el descascarillado o escamado de la capa cementada después del temple, dado que la transición pasa bruscamente de un porcentaje elevado de carbono hipereutectoide al hipoeutectoide, restándole la coherencia necesaria.

### III 3.- VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LOS DISTINTOS CEMENTANTES.

Los cementantes sólidos son fáciles de utilizar, pero resultan caros de aplicar por el consumo de combustible y costo de la preparación de las piezas en las cajas. Además las temperaturas son muy desiguales en las cajas grandes.

Los principales inconvenientes de los cementantes sólidos son:

a) La gran duración de la operación, generalmente demasiado larga ya que es necesario calentar hasta muy altas temperaturas las grandes cajas de cementación.

b) El elevado consumo de combustible necesario para calentar el cementante y las cajas.

c) El elevado costo de preparación y colocación de las piezas en las cajas .

d) La dificultad de templar directamente las piezas desde

la caja y por tanto, la imposibilidad de emplear dispositivos automáticos para el temple al trabajar con grandes series.

e) La irregularidad de temperaturas en el interior de las grandes cajas de cementación.



## CAPITULO CUARTO

### CEMENTACION LIQUIDA

La cementación del acero en un agente cementante líquido se realiza en baños de sales de diferentes composiciones a temperaturas comprendidas entre 820 y 950 ° C, las mezclas de sales empleadas para esta finalidad suelen llamarse sales para cementar y es frecuente clasificarlas erróneamente, en sales para cementación superficial y cementación profunda. Estas designaciones inducen a error y es más correcto dividir las en sales activadas y no activadas.

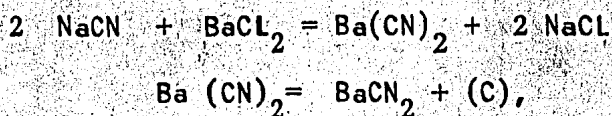
En este proceso la gran dureza superficial que adquiere el acero, puede considerarse debida exclusivamente a la acción del carbono. La influencia del pequeño porcentaje de nitrógeno existente en la capa periférica es muy pequeña y puede ser casi despreciada.

Los baños de sales que se utilizan en este procedimiento se preparan generalmente a base de cianuro sódico, con porcentajes variables de cloruro y carbonato sódicos a los que se añade uno o más cloruros o fluoruros de bario, potasio, calcio o estroncio, que actúan como agentes catalíticos, aumentando notablemente la penetración que con ellas se consigue. Unas con 17 a 23 % de cianuro que se emplean a temperaturas variables de 850° a 900° C, para capas de espesor medio de 0,2 a 1,5 mm de profundidad, y otras de 7,5 a 12 % de cianuro para espesores, variables de 1 a 3 mm, que se emplean a temperaturas de 875° a 950° .

En la tabla (1) se dan las composiciones de las sales de cementar más usadas en la actualidad.

En los baños de cementar debe cubrirse siempre la superficie de las sales con escamas de grafito para evitar una pérdida grande de cianuro.

En los baños de sales activados con cloruro bórico la actividad carburadora es debida principalmente a las siguientes reacciones:



En las que (C) representa el carbono que pasa al acero.

	Capa cementada de 0,2 a 1,5 mm %	Capa cementada de 1 a 3 mm %
Cianuro sódico.....	17 a 23	7,5 a 12
Cloruro bórico.....	14 a 40	45 a 55
Otras sales alcalinas.....	0 a 3,5	2 a 10
Cloruro potásico.....	---	5,5 a 20
Cloruro sódico.....	20 a 30	0 a 15
Carbonato sódico.....	< 30	< 30
Cianato sódico.....	< 1	< 0,30

T A B L A ( 1 )

La intensidad de esta reacción se acentúa con la tempera-

tura y con ella aumenta la liberación de carbono activo y disminuye la formación de nitrógeno cuya influencia es perjudicial-- en este tratamiento porque dificulta la penetración del carbono en el acero. Como el porcentaje de cianato en el baño es un índice de la cantidad de nitrógeno que absorbe el acero, para asegurar una buena penetración de carbono debe evitarse que pase-- de ciertos límites, debiendo mantenerse en los baños de penetración media, porcentajes de cianato inferiores a 1% y en los de-- gran penetración menores del 0,3% .

Las irregularidades que se pueden presentar en estos procesos deben atribuirse a alguna de las siguientes circunstancias:

- 1o.- Contenido insuficiente de cianuro para generar el --- carbono activo .
- 2o.- Aumento exagerado del contenido de carbonato sódico.
- 3o.- Cantidad excesiva de cianato sódico y
- 4o.- Error en la temperatura de cementación.

Las profundidades que se consiguen empleando sales de media y gran penetración se pueden observar en la figura No. (4).

El proceso de trabajo que se sigue en los talleres de tratamientos térmicos para mantener los baños con las composiciones adecuadas varía según la clase de sales empleadas.

El fin que se persigue siempre es mantener el baño durante

toda la operación dentro de unos límites de composición que en la mayoría de los casos son los señalados en la tabla ( 1 ).

Para conseguirlo, los fabricantes suelen preparar varios tipos de sales que mezclados en proporciones convenientes, dan esas composiciones. Como con el uso suele disminuir el porcentaje de cianuro y se alteran también los porcentajes de otros elementos, es necesario añadir periódicamente ciertas sales para mantener una composición conveniente.

Según los casos se suele usar:

1o.- Una sola sal, que contiene todos los elementos necesarios para cementar el acero y que a medida que se va gastando el baño sirve también para relleno. Esta sal suele contener  $\text{CNNa} = 25\%$ ,  $(\text{CN})_2\text{Ca} = 0,5-5\%$  y  $\text{Cl}_2\text{Ca} = 70\%$ , es muy barata, pero es higroscópica y es necesario lavar muy bien las piezas para evitar su corrosión. No es necesario hacer análisis del baño y observando el aspecto de su superficie se conoce su grado de actividad.

2o.- Dos sales, una de las cuales suele ser una sal neutra o una mezcla de sales neutras, y la otra, una sal de cianuro con cloruros activadores ( $\text{CNNa} = 30\%$ ,  $\text{Cl}_2\text{Ba} = 50\%$  y  $\text{CLNa} = 20\%$  aproximadamente).

3o.- También se suelen usar tres sales. Una de bajo punto de fusión neutra, compuesta generalmente por cloruro o carbonato sódico que sirve para iniciar la fusión de una pequeña parte

del baño de sales. Otra sal de cianurar con 80 a 90 % de cianuro sódico y 5 a 10% de carbonato sódico y la tercera, que es la sal catalizadora, con 70 a 85 % de cloruro bórico, 5 a 10% de cianuro sódico, 10% de cloruro sódico y 10% de carbonato sódico aproximadamente.

En los dos últimos casos durante el trabajo se añaden periódicamente pequeñas cantidades de las sales de elevado contenido en cianuro para que el contenido en cianuro sea el adecuado.

Los baños de sales fundidas se utilizan mucho para cementación de piezas pequeñas, pues resulta este procedimiento más rápido y sencillo que la cementación con materias sólidas.

Las sales para cementar están formadas generalmente por cianuro sódico y otras sales en proporción variable según la profundidad de la penetración que se desea obtener.

Para espesores de capa cementada de 0,2 a 1,5 mm. se utilizan sales de la siguiente composición:

Cianuro sódico.....	20 %
Cloruro bórico.....	30 %
Cloruro sódico.....	25 %
Carbonato sódico.....	25 %

Para obtener espesores comprendidos entre 1 y 3 mm se puede utilizar la siguiente composición :

Cianuro sódico.....	10 %
Cloruro bórico.....	55 %
Cloruro sódico.....	10 %
Carbonato sódico.....	15 %
Cloruro potásico.....	10 %

Es preciso vigilar el porcentaje de cianato sódico, que no debe pasar de 0,30 por ciento en los baños de gran penetración y 1% en los baños de pequeña penetración. Si los porcentajes--- indicados se rebasan, es indicio seguro de que el acero esta -- absorbiendo nitrógeno, con perjuicio de la penetración de carbono.

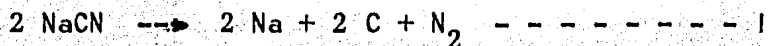
A medida que se realizan operaciones de cementación en un-- baño de sales, varia su composición. Para mantenerla en límites-- adecuados, se añaden sales nuevas que contienen todos los ele -- mentos necesarios, o bien mezclas de dos o tres sales en las cantidades determinadas por los fabricantes.

El espesor de la capa cementada, depende además de las composiciones del baño, de la temperatura y, sobre todo de la dura-- ción del tratamiento.

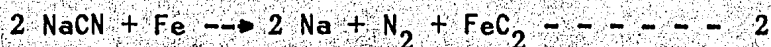
Debe recubrirse la superficie de los baños con escamas de-- grafito u otro producto que impida su oxidación, para evitar --- pérdidas considerables de cianuro.

Los hornos de sales deben estar cubiertos por campanas para la evacuación de los gases que son muy venenosos.

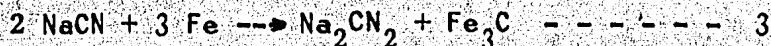
Todavía no están totalmente explicadas las reacciones que tienen lugar en un baño de sales. No es por ello de extrañar-- que discrepen las teorías expuestas por los diferentes científicos. Es sabido que el cianuro sódico se descompone térmicamente de acuerdo con la ecuación:



También se sabe que a 600°C el cianuro sódico reacciona-- con el polvo de hierro.



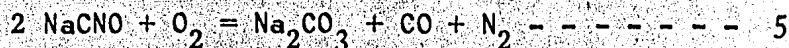
o, según datos de Regirer,



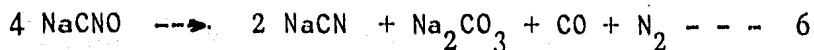
El curso de estas reacciones se estudió sobre la base de ensayos en vacío o en ausencia de oxígeno. En la práctica no se realizan las cementaciones al abrigo del aire, y en los baños no activados se oxida primero el cianuro sódico a cianato,



El cianato vuelve a oxidarse



o se descompone por la acción del calor,

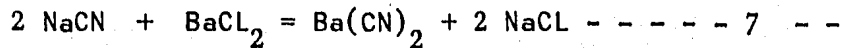


El CO formado puede cementar de acuerdo con el equilibrio de Boudouard. La validez de este equilibrio está comprobada -- para la cementación en caja y en atmósfera gaseosa. Según las ecuaciones ( 3 ) a ( 5 ), debe ser perjudicial para la cementación impedir o dificultar el acceso de oxígeno del aire a los baños no activados, cubriéndolos con grafito. La práctica ha -- confirmado esta teoría, pues los baños de esta clase cementan -- peor cuando se les cubre con grafito. Además, en los baños no -- activados depende la eficacia de la carburación de la profun -- didad de inmersión, y es máxima inmediatamente por debajo de -- la superficie libre.

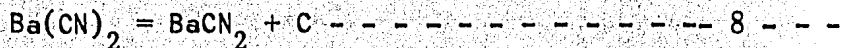
Debemos también mencionar en este lugar que Ornig, X, -- ha comprobado que, en baños fundidos que contenían cianuros, -- cianatos y carbonatos, mantenidos entre 500 y 550°C bajo gases -- con contenidos de CO y CO<sub>2</sub>, es probable que solo el carbono -- de los cianuros sea cedido al hierro. Este hecho contradice las -- teorías anteriores, según las cuales, los cianatos y los car -- bonatos serían los que transportasen el carbono al metal vía -- CO.

En las sales que contienen activadores es muy distinta -- la reacción en el baño. Todas las sales para cementar, activa -- das, contienen cloruros de bario o de estroncio, o mezcla de -- ambos cloruros alcalinotérreos. El cianuro sódico reacciona -- con estos cloruros, por ejem., con el bario, para formar cianu -- ro.





El cianuro de bario se descompone a las temperaturas de trabajo de 850 a 930°C en cianamida de bario y carbono.



Y la cianamida reacciona con el carbonato sódico formando cianato sódico y óxido de bario.



El cianato sódico se descompone, según la ecuación (6), en cianuro sódico, carbonato sódico, óxido de carbono y nitrógeno, y el óxido de bario, formado según la ecuación (9), fija CO<sub>2</sub> con formación de carbonato bórico. Como consecuencia de esta reacción, resulta comprensible que la eficacia de la cementación no dependa de la profundidad de inmersión y que actúen lo mismo junto a la superficie que en el fondo.

#### IV. 1.- EJECUCION Y APLICACIONES DE LA CEMENTACION EN BAÑO DE SALES.

La cementación de las piezas en baños de sales suele realizarse a temperaturas comprendidas entre 820 a 950°C después de un precalentamiento. La duración depende de la profundidad de cementación requerida, pero siempre es más corta que cuando se cementa en caja. Para lograr profundidades de hasta 0,4 mm es económico emplear los baños no activados. Las pie--

zas a tratar en estos baños deben cementarse acabadas, pues -- la superficie no se puede rectificar después, porque podría -- producirse una gran disminución de la dureza.

En los baños activados se pueden conseguir capas cementadas de hasta 2 mm de profundidad, con una duración de 8 h a -- 950°C. La dureza de la superficie, además, se conserva aunque por el rectificado se reduzca a la mitad el espesor de la capa cementada lograda.

Las piezas que hayan de mecanizarse después de la cemen-- tación deben acabarse con mucho cuidado y ablandarse por reco-- cido realizado también en baño de sales. Para este ablandamien-- to basta, en los aceros no aleados, un breve calentamiento en-- tre 550 y 650°C, mientras que los aleados, pueden requerir va-- rias horas entre 650 y 680°C.

Es esencial no enfriar inmediatamente al aire las piezas-- cementadas, porque el cianuro sódico adherido se quema muy rá-- pidamente en el aire y el residuo de sales formado ataca fuer-- temente a las piezas incandescentes.

## CAPITULO QUINTO

### CEMENTACION GASEOSA

En el pasado siglo XIX Caron inició hacia el año 1860 los primeros trabajos y experiencias sobre la cementación gaseosa. Algunos años más tarde, Manesmann (1879), Charpy (1903) y --- Guillet (1904), estudiaron y desarrollaron también este pro--- cedimiento. El Italiano Federico Giolitti fué, sin embargo, el primero que experimentó a fondo el proceso, y en 1912 publicó el resultado de sus ensayos cementando con óxido de carbono, -- etileno, metano y gas del alumbrado.

Posteriormente, durante bastante tiempo, la cementación -- gaseosa se utilizó casi exclusivamente para la fabricación --- de blindajes y hasta los años 1925-1927 comenzó a tomar verda-- dero desarrollo el procedimiento.

Durante muchos años la cementación sólida (cajas), ha -- sido practicada con cierto éxito, pero sus inconvenientes, ta-- les como el calentamiento de caja-cementante-piezas, prepara-- ción engorrosa, suciedad en la carga y descarga, etc., y su -- tiempo va siendo cada día más desechada, dando paso a la cemen-- tación gaseosa. La cementación con gas elimina los cementantes sólidos y líquidos (Sales), dada su gran velocidad de calenta-- miento, su cementación y su perfecto control del potencial de-- carbono deseado. En una de las técnicas más generalizadas en-- la cementación gaseosa cuando se inicia la operación la veloci-- dad de penetración del carbono en el acero es relativamente -- rápida, disminuyendo sensiblemente a partir de hacerse alcanza-- do cierta profundidad; Las temperaturas deberán estipularse -- como las máximas admitidas por el acero, puesto que las altas--

temperaturas aumentan la velocidad de cementación de una manera muy acusada, pero también es aumentado el porcentaje de carbono de la capa cementada. Una vez alcanzada la carburación estipulada se procede a un recocido de difusión el cual asegura una capa eutectoide.

Cuando la cementación gaseosa es ejecutada en instalaciones modernas donde la regulación de mezclas del gas se efectúan automáticamente, el potencial de carbono deseado es mantenido durante la cementación, prescindiendo en estos procesos del recocido de difusión.

Aunque el responsable de la cementación, incluso en la cementación en sólido, es un gas (CO), en término "cementación gaseosa" se reserva para los procesos en los que el agente suministrador de carbono, en la cámara, es también un gas. El empleo de la cementación gaseosa predomina en el campo de automoción, especialmente para engranajes.

Esta preponderancia de la cementación gaseosa refleja que existen ciertas ventajas respecto de la cementación en sólido, en cuanto se refiere al tamaño de equipo necesario para una producción total dada, y conveniencia en cuanto a control del carbono incorporado a las capas superficiales de las piezas. Algunos consideran que industrialmente es una operación más limpia.

En las condiciones modernas de trabajo en cementación gaseosa, el carbono que se introduce en el acero es aportado normalmente a la cámara en forma de metano (gas natural) o propano.

Se precisa un grado de pureza elevado en el gas para evitar la precipitación de residuos alquitranosos, cosa que ocurre en presencia de otros hidrocarburos. El carbono sólido depositado sobre el acero puede retrasar la formación de la capa. La uniformidad de capa en todas las piezas requiere el empleo de soportes y espaciadores que ocupen el menor sitio posible y permitan el acceso del gas cementante.

El gas de urbano normal, que corrientemente se suministra para satisfacer las exigencias mínimas de combustión (calorías por metro cúbico), es de composición y comportamiento demasiado variable y no sirve para emplearlo como agente cementante.

Para conseguir una circulación buena es necesario emplear un volumen grande de gas que no sea tan cementante y ello se logra utilizando, con una circulación efectiva, un gas portador al que se añade un cementante más fuerte (metano o propano). El gas portador solo es ligeramente cementante y no se aspira a que pueda suministrar una parte sustancial del carbono difundido hacia el interior de las piezas. El gas portador frecuentemente es del tipo obtenido, en forma continua, en un generador automático y se denomina gas "endotérmico". El potencial de carbono, de la mezcla de gases que circula a través de la carga, se controla por la proporción del hidrocarburo de enriquecimiento y del portador.

A veces se desea conseguir la difusión del carbono, que en la superficie existe en alta proporción, hacia el núcleo de la pieza, suavizando el gradiente de carbono en la capa.

Esto puede conseguirse fácilmente con un período de calentamiento prolongado en una mezcla gaseosa de potencial de carbono disminuido, hasta el final del ciclo de cementación. Sólo es necesario ajustar la mezcla gaseosa de modo que no aparezca una superficie descarburada.

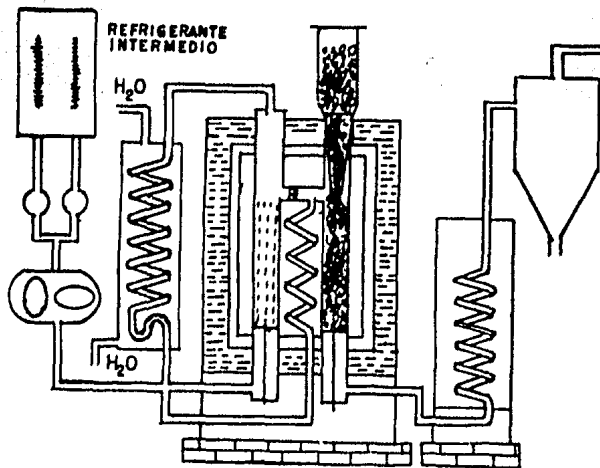
Está muy extendida la aplicación de la cementación a piezas de acero de baja aleación (conteniendo varios aleantes corrientes) con 0,15 a 0,20 % de carbono: Estos aceros tienen una templeabilidad suficiente para efectuar un temple martensítico correcto en toda su sección o, por lo menos, hasta algo más de profundidad que la zona ocupada por la capa enriquecida en carbono. La martensita de bajo contenido en carbono, en la parte más externa del núcleo, tiene así una resistencia de soporte elevada e inherentemente conserva tenacidad adecuada, dando resultados muy satisfactorios.

En los procesos de cementación con agentes carburantes sólidos o líquidos se obtiene el gas cementante en la inmediata proximidad de la superficie a carburar. Es comprensible que el gas formado en estas condiciones tenga una composición química a penas controlable y que solo se puede modificar limitadamente. Para hacer esta dificultad se emplea en la cementación con gas el obtenido en una instalación especial de preparación. La cantidad de gas cementante que hay que obtener depende de una serie de factores, como la producción horaria media de producto cementado, la magnitud de la superficie a cementar de las piezas y el tipo y forma de funcionamiento de los hornos empleados para la cementación.

## V. 1.- PREPARACION DE GAS CEMENTANTE.

La elección del procedimiento de fabricación del gas cementante depende de las condiciones locales de suministro de gas. Para el gas obtenido en generadores a partir de gases -- mantecosos ( gas pobre ) se encuentra muchas veces en la literatura la denominación de gas portador. Esta expresión se --- introdujo, en su tiempo, en los Estados Unidos porque se consideraba que tal gas solo podía servir como diluyente. En la actualidad ya no resulta satisfactorio utilizar esta denominación, porque los gases de generador pueden emplearse como gas cementante activo.

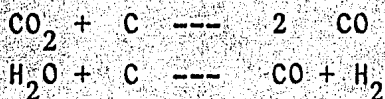
La siguiente figura (9) muestra el esquema de un generador de gas para cementar, tipo Holcroft. El generador consiste en una doble vasija de material refractario, calentada desde el exterior y mantenida a una temperatura superior a ---  $100^{\circ}\text{C}$  el com-



GENERADO DE GAS PARA CEMENTAR, CON ELIMINACION DEL AGUA

FIGURA ( 9 )

presor aspira una mezcla de aire y gas urbano y lo comprime -- en la vasija mantenida a 1050°C aproximadamente. La adición--- de aire se mide de tal manera que la mezcla se transforme so-- bre el catalizador de níquel en una constituida fundamentalmen-- te por H<sub>2</sub>, CO y N<sub>2</sub>. El metano se disocia casi por completo so-- bre el catalizador de níquel y el aire mezclado basta exacta-- mente para quemar el carbono originado. El proceso total es -- endotérmico y la cantidad de calor necesaria la suministra el calentamiento externo. El CO<sub>2</sub> y el H<sub>2</sub>O formados por la combusti-- ón son reducidos en la vasija rellena de carbón vegetal in-- candecente.

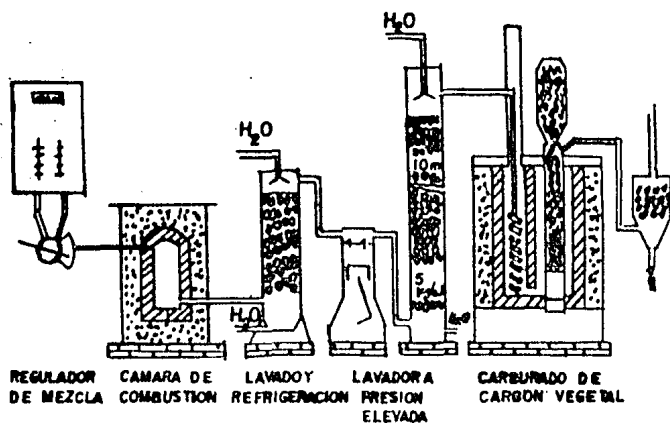


Cuando no se dispone de gas urbano puede también emplear se gas de gasógeno. En este caso, no se necesita que la vasi-- ja esté rellena con el catalizador de níquel, ya que no exis-- te metano en el gas de gasógeno, sino que se la llena tambié-- n de carbón vegetal. Tampoco es necesaria la adición de aire. -- Según datos de Schmidt1 puede obtenerse, empleando un gas de-- gasógeno con 12 % de H<sub>2</sub>, 29, 5% de CO, 4,6% de CO<sub>2</sub> y 53,9% de N<sub>2</sub> que se pasa sobre carbón vegetal calentado a 1000°C, un gas cementante de la siguiente composición: 11,5% de H<sub>2</sub> 37% de -- CO, 51,5% de N<sub>2</sub>, 0,03% de CO<sub>2</sub> y 0,02% de H<sub>2</sub>O. Cuanto menores-- sean los contenidos de CO<sub>2</sub> y de H<sub>2</sub>O en el gas carburante ob-- tenido, mejor cementará.

La fabricación del gas de cementación en el generador --



Holcroft presenta muchos inconvenientes que proviene de la composición variable del gas urbano. Los tubos de reacción están sometidos a desgastes fuertes, y el azufre del gas urbano envenena rápidamente al catalizador de níquel, y, además, se produce muy fácilmente una resina a partir del carbón vegetal. Como consecuencia de estos inconvenientes, Brugger desarrolló otro procedimiento, esquematizado en la figura (10).



INSTALACION PARA OBTENER GAS PARA CEMENTA POR COMBUSTION INCOMPLETA CON PURIFICACION DEL GAS Y REDUCCION

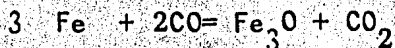
FIGURA ( 10 )

El aire y el gas mezclados en las proporciones correctas---entran en una cámara de combustión y en ella se produce a temperatura elevada la disociación de los hidrocarburos. La temperatura de esta cámara no está limitada por las características de un acero refractario porque está revestida interiormente. Ello---permite lograr una disociación completa. El gas quemado con es---

casez de aire pasa finalmente a un refrigerante por riego en el que se separan las impurezas groseras y los productos de la combustión solubles en agua. Finalmente, se le comprime y hace pasar a  $5 \text{ Kp/cm}^2$  a través de una torre alta rellena de anillos Raschig y regada con agua desde la parte superior. Una parte del  $\text{CO}_2$ , determinada por las condiciones de temperatura y presión, se disuelve en el agua, y el gas abandona la torre lavadora con un contenido relativamente constante de  $\text{CO}_2$  y de  $\text{H}_2\text{O}$ . Según datos de Brugger, el gas contiene 2,8g de agua por metro cúbico ( en condiciones normales), y 2,0 a 2,5 % de  $\text{CO}_2$ . Este gas aún no puede emplearse para un recocido sin descarburación ni para la cementación, porque el contenido de  $\text{CO}_2$  es demasiado elevado. Como tratamiento final se precalienta el gas y se le hace pasar sobre carbón vegetal incandescente. La reducción resulta tan uniforme que, a la temperatura conveniente y para igual caudal de gas uniforme, los contenidos residuales de  $\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{CO}_2$  se mantienen constantes.

Aunque el gas así obtenido es ya de por sí cementante, también se puede incrementar su eficacia carburante añadiendo los hidrocarburos ( propano).

El óxido de carbono cementa al acero de acuerdo con la reacción



El equilibrio que se establece es el de Boudouard (Fig. 11) Además de la cementación producida por el CO, se puede también realizar cementaciones mediante los hidrocarburos, por ejem.

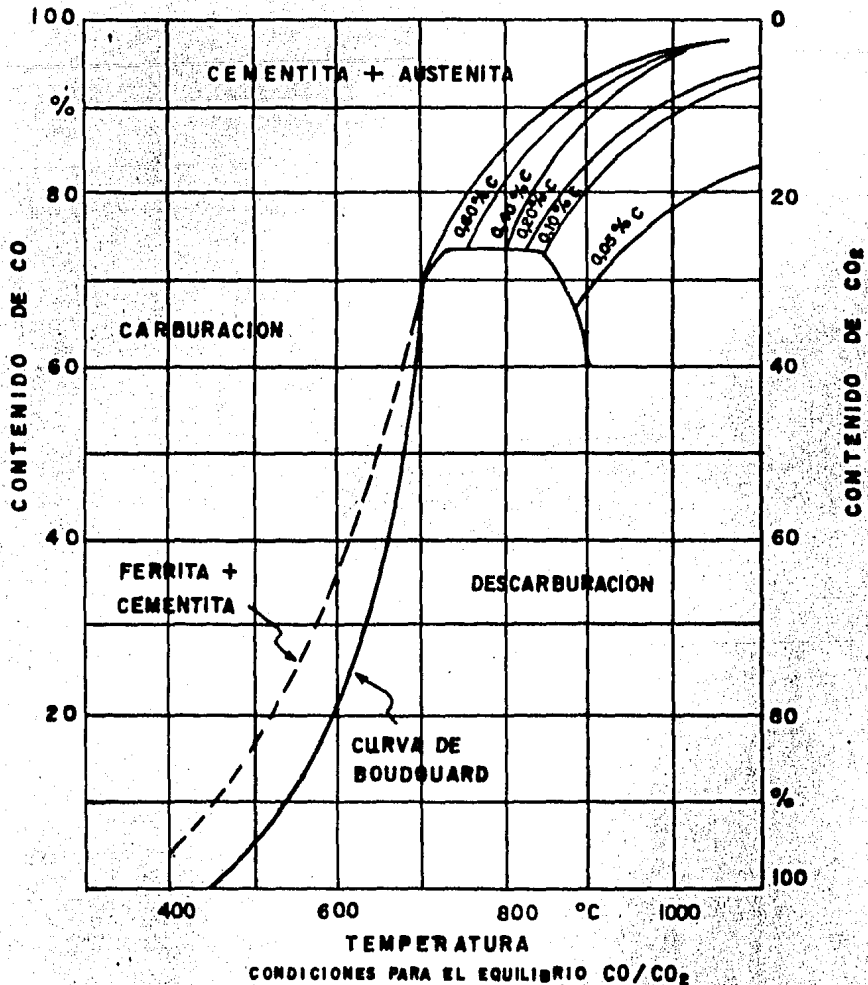
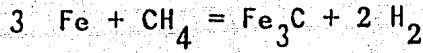


FIGURA ( 11 )

metano ( $CH_4$ ), propano ( $C_3H_8$ ) y butano ( $C_4H_{10}$ ).- La cementación por el metano se efectúa según la ecuación.



Solo se produce si el metano se encuentra en un determinado estado de equilibrio con el hidrógeno originado en la reacción. La figura (12) reproduce las condiciones de equilibrio para diferentes temperaturas. Al aumentar la temperatura de cementación es necesario incrementar la relación de metano a hidrógeno si ha de evitarse la descarburación. Un contenido excesivo de hidrógeno no solo produce descarburación, sino que estimula la oxidación de la superficie de las piezas.

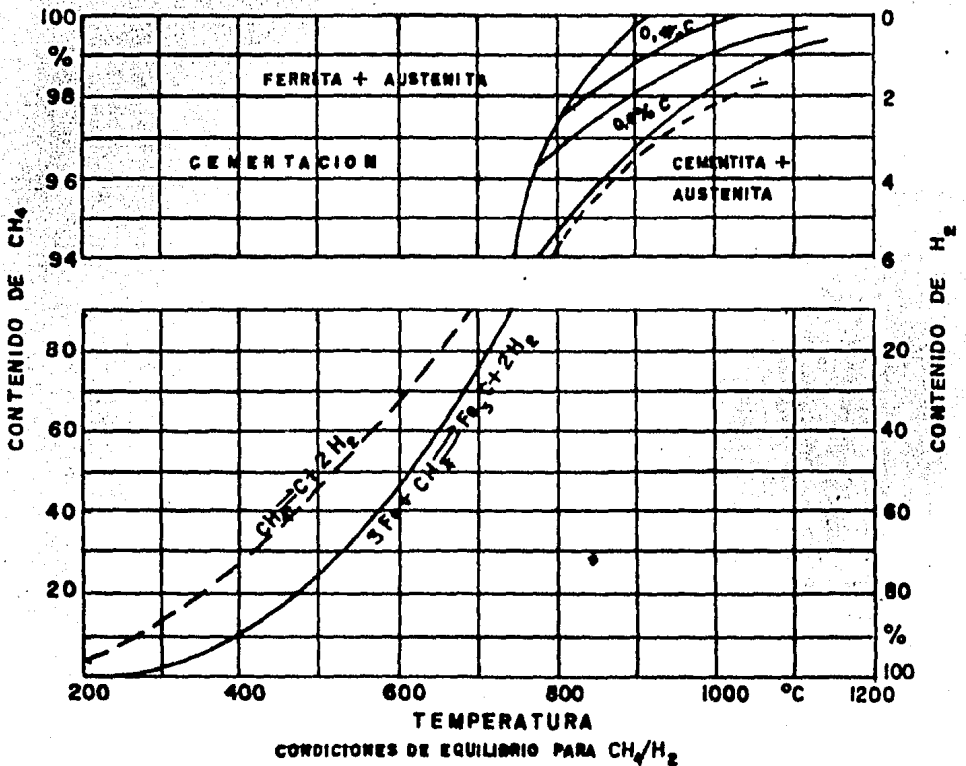


Figura (12)

## V. 2.- CEMENTANTES GASEOSOS.

La cementación con gases se efectúa colocando las piezas -- en una atmósfera carburante a las temperaturas de cementación, -- de 850° a 900° .

La atmósfera carburante está formada por una mezcla de un -- gas activo y un gas portador. El gas activo es generalmente me -- tano, aunque puede utilizarse también propano y butano. El gas -- portador es una mezcla de óxido de carbono, hidrógeno y nitróge -- no, con pequeños porcentajes de vapor de agua, anhídrido carbóni -- co, etc.

El gas portador se prepara quemando incompletamente un gas -- combustible, como gas de alumbrado, con lo que se forma CO, --- CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y cantidades variables de hidrocarburos. Esta mezcla --- gaseosa se hace pasar por carbón vegetal a alta temperatura, --- óxido de bario u otro catalizador, con lo que se transforma el -- anhídrido carbónico en óxido de carbono, y se disocia el vapor -- de agua.

Después de incorporar el metano desde la botella en que es -- tá almacenado a presión al gas portador, se conducen los gases -- al horno de cementación.

Las misiones del gas portador, son las siguientes:

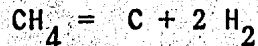
1a.- Desplazar el aire o gases que existan dentro del horno,

sobre todo el vapor del agua y el anhídrido carbónico, que son muy perjudiciales para la buena marcha de la cementación .

2a.- Reducir el depósito de hollín que inevitablemente -- se forma en la cementación gaseosa.

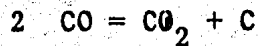
3a.- Economizar metano, ya que se consigue el mismo efecto empleando pequeñas cantidades de este gas que si la totalidad de la atmósfera del horno estuviese constituida por él.

Sin embargo, la cementación la realiza principalmente el metano, al descomponerse por la siguiente reacción:



Y el carbono naciente es absorbido por el acero a la temperatura de austenización ( 850° a 950° ) .

También el óxido de carbono CO colabora en la cementación, descomponiéndose a elevada temperatura en carbono y --- anhídrido carbónico.



Por tanto, existirán en la atmósfera de los hornos de cementación gaseosa cantidades crecientes de  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2$  formados -- en el curso de la operación.

El espesor de la capa cementada depende, como siempre, ---

en su mayor parte, de la duración de la operación pudiendo obtenerse en ocho horas hasta 1,5 milímetros de espesor.

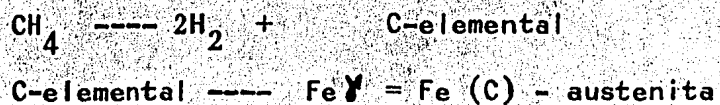
El porcentaje de carbono de la capa cementada depende de la temperatura de la cementación.

En muchas ocasiones, después de haber carburado a elevada temperatura, se mantienen las piezas a unos 800° en atmósfera neutra, para mejorar la difusión del carbono en la capa cementada.

En este proceso, manteniendo las piezas de 1 a 8 horas en una atmósfera carburante, a temperaturas de 850° a 950°, se obtienen capas cementadas de 0,2 a 1,5 mm de profundidad. Únicamente en casos especiales, como la fabricación de blindajes, se emplean procesos más largos y se obtienen capas cementadas de mayor espesor. Aunque las instalaciones son bastantes complicadas y costosas, la cementación de las piezas es muy sencilla y rápida. Se obtienen resultados muy regulares y se pueden cementar grandes cantidades de piezas en muy poco tiempo. El empleo de este procedimiento, que está sustituyendo en muchos casos en la cementación en cajas, y a la cementación en Sales, es de gran interés para las empresas que deban cementar muchas piezas y, en cambio, no es muy recomendable para talleres pequeños que trabajan solo con pequeñas series. En la actualidad la cementación gaseosa es el método de endurecimiento superficial más empleado en grandes talleres, fábricas de automóviles-motocicletas, etc., donde se preparan cantidades muy importantes de piezas cementadas.

Durante la cementación con gas se puede obtener la concentración prefijada de carbono en la capa; reducir la duración del proceso, puesto que no hay la necesidad de calentar las cajas llenas de un carburante de mala conductibilidad térmica; Asegurar la posibilidad de una automatización y mecanización total de los procesos y simplificar considerablemente el tratamiento térmico posterior de la pieza, -- puesto que puede realizar el temple directamente del horno.

La reacción principal que garantiza la carburación durante la cementación con gas, es la disociación del metano:



Se obtiene una buena capa cementada al emplear en cantidad de carburante el gas natural ( $\text{CH}_4$ ), como también mezclas propano-butánicas, sometidas a un tratamiento especial. La cementación con gas comúnmente se realiza en hornos de cuba de acción periódica o en hornos de mufla y sin mufla de acción continua.

Si el proceso se realiza en hornos de cuba, para la cementación se usa Keroseno, gasolina sintética, alcoholes, etc. La alta estabilidad térmica y una excelente evaporación de los hidrocarburos líquidos (gasolina sintética, Keroseno, etc.) permite en un solo espacio de trabajo simultanear la obtención de gas y la realización de la cemen-



tación. En los hornos de acción continua comúnmente se emplean gases naturales. Para la obtención de la concentración dada de carbono en la capa cementada (generalmente 0,8%) se emplea la atmósfera endotérmica regulada.

En la industria, para acelerar el proceso, se emplea ampliamente la cementación con gas, durante la cual el potencial carbónico de la atmósfera al principio se mantiene alto, lo que garantiza la obtención en la zona superficial de una capa, por ejemplo, con una concentración de 1,3-1,4%, y luego se reduce para obtener en esta zona el contenido óptimo de carbono (0,8%).

Para ello, en los hornos de acción continua se proveen dos zonas a lo largo del horno. En la primera zona se corresponde aproximadamente a los 2/3 de largo del horno, se suministra gas, compuesto de una mezcla de gas natural (10-15%) y gas endotérmico, (90-85%).- A la segunda zona se suministra solamente gas endotérmico que se encuentra en equilibrio con la concentración dada de carbono (0,8%) en la superficie.

En esta etapa, a cuenta de la difusión del carbono de la superficie a la profundidad y a la interacción de la superficie de la pieza con la atmósfera endotérmica, la concentración de carbono en la superficie disminuye hasta el valor requerido y simultáneamente disminuye el salto de concentraciones por la profundidad de la capa cementada.

La cementación se efectúa a 930-950°C. El tiempo de cementación para la obtención de una capa de un espesor de 0,7-1,5- a 930°C en horno de mufla (sin mufla) de acción continua es--

de 6-12 horas y en los hornos de cuba de 3-10 horas.

Para acelerar el proceso, la temperatura de la cementación con gas a veces se aumenta hasta 1000-1050°C con la condición de que los aceros empleados en este caso son de grano fino hereditario, no propensos al recalentamiento.

### V.3.- EJECUCION DE LA CEMENTACION EN GAS

La capa externa de la pieza debe lograrse un contenido de carbono de 0,8 a 1,0%. Es conveniente trabajar de la siguiente forma: en primer lugar, se carbura rápidamente con un gas muy activo y se consigue un contenido de 1,2 a 1,3% de C en la capa cementada; después de pasar cierto tiempo, se aminora la actividad cementante del gas para alcanzar el equilibrio con un contenido de 0,8% en la capa. El elevado contenido de carbono alcanzado inicialmente disminuye hasta el 0,8% por difusión hacia el núcleo. Con esta forma de proceder se obtiene profundidades grandes de cementación en tiempos breves. La cementación en gas sólo puede utilizarse de modo satisfactorio cuando se temple inmediatamente después de la carburación en un baño intermedio a 550°C aproximadamente para afinar el núcleo, o en un baño caliente, en aceite o en agua. El temple directo después de la cementación solo es recomendable cuando no perjudica a las características de tenacidad y resistencia. Para aminorar las distorsiones y tensiones ha dado buenos resultados dejar enfriar las piezas en una antecámara hasta 860 a 840°C antes del temple. Para el temple directo, después de cementar en gas en un horno continuo sólo se puede emplear el aceite, porque si se enfría en agua se produce mucho vapor que no es posible evitar que se mezcle con la atmósfera del horno.

La velocidad de cementación depende de la presión reinante del gas en la cámara de cementación. Por esta razón las cajas, vasijas etc., utilizados en el proceso deben ser rigurosamente cerradas, dejando solamente un escape de gases quemados, capaz de regular una presión constante en la cámara. La presión hace aumentar la velocidad de cementación. Cuando las cajas están mal preparadas y se origina entrada de aire, éste hace que el cementante se combine originando al mismo tiempo la oxidación y la decarburación de las piezas. Igualmente deberán evitarse las fugas del gas, cuando se opere en la cementación gaseosa, regulando la presión de la cámara de cementación. Un escape de gas, por tenue que sea, entorpece el proceso de cementación de estos casos.

#### V.4.- CEMENTACION GASEOSA POR GOTEO (PROCEDIMIENTO CARBODRIP-E INTEGRAL)

Este sistema, también muy generalizado, está basado en introducir un hidrocarburo líquido estudiado de tal manera que evite la deposición de residuos sobre las piezas a cementar, la cual entorpece la cementación. Una vez inflamado el líquido dentro de la vasija forma una atmósfera altamente carburante cuya composición química es análoga a la del gas urbano preparado. Este procedimiento evita el empleo de generador, siempre costoso, necesario para preparar un gas adecuado para la cementación. El sistema constituye una gran ventaja, permitiendo el empleo de la cementación gaseosa, incluso en pequeñas instalaciones.

El líquido contenido en un depósito es introducido en el horno mediante una presión ejercida por aire comprimido (3 a 5

Kilogramos por centímetro cuadrado), pasado por un filtro, - donde seguidamente la presión se reduce a 0,5 kilos por centímetro cuadrado, donde un medidor mantiene un caudal de líquido constante. Seguidamente el líquido goteado cae sobre una placa dispuesta con tal finalidad dentro de la cámara -- que por estar en el momento en que se inicia la introducción del líquido a unos 650°C se transforma éste en gas. Este gas es fuertemente agitado mediante una turbina, asegurando de esta forma una buena repartición del gas cementante, necesaria para lograr una regularidad en la operación

#### V. 5.- TRATAMIENTO TERMICO DE GRANDES SERIES DE ENGRANAJES -- EN HORNOS DE CEMENTACION GASEOSA.

Preparación y limpieza de las piezas antes de ser introducidas en el horno.

La limpieza, desengrase, etc., de los engranajes (o cualquier tipo de piezas sometida a tratamiento) deberá ejecutarse meticulosamente, teniendo especial importancia el tipo de detergente aunque cumpla perfectamente la función de desengrasante y que la superficie de la pieza quede completamente limpia al salir del proceso de cementación presenta una determinada película que entorpece la cementación y que puede originar el escamado de la capa carburada. Experiencias al respecto han constatado que el tipo de detergente empleado tiene una influencia decisiva en la cementación. Una vez conseguido un total lavado y desengrase de las piezas se procederá a un secado total, pues cualquier traza de humedad introducida en el horno provoca anomalías en el proceso carburante.

Seguidamente las piezas son colocadas sobre emparrillados adecuados para evitar que durante los desplazamientos dentro del horno se golpeen entre sí, evitando cualquier muesca en el diente, lo que haría un engranaje deficiente y ruidoso. -- Para grandes producciones, concretamente en la industria automovilística, se emplean los hornos continuos. El calentamiento se efectúa por tubos radiantes a gas o electricidad, y la atmósfera cementante es proporcionada por un generador endotérmico que quema propano, metano etc.

La composición química de la atmósfera reinante en el horno se estipula con los siguientes porcentajes:

CO <sub>2</sub>	0 - 0,1	%
CO	20 - 25	%
O <sub>2</sub>	0	%
H <sub>2</sub>	25 - 30	%
CH <sub>4</sub>	0,6 - 1	%
N <sub>2</sub>	restante	

Una vez finalizado el proceso de cementación, normalmente de 1 milímetro de profundidad y con un tiempo de 8 a 9 horas las parrillas o cestas pasan por una zona del horno donde la temperatura corresponde a la de temple, donde finalmente las parrillas con las piezas pasan a un mecanismo transportador vertical que las introduce en el baño de aceite, para su temple.

Sin excepción estos hornos ejecutan el Martemperig, o sea, que el baño de aceite oscila entre los 180 y los 200°C.

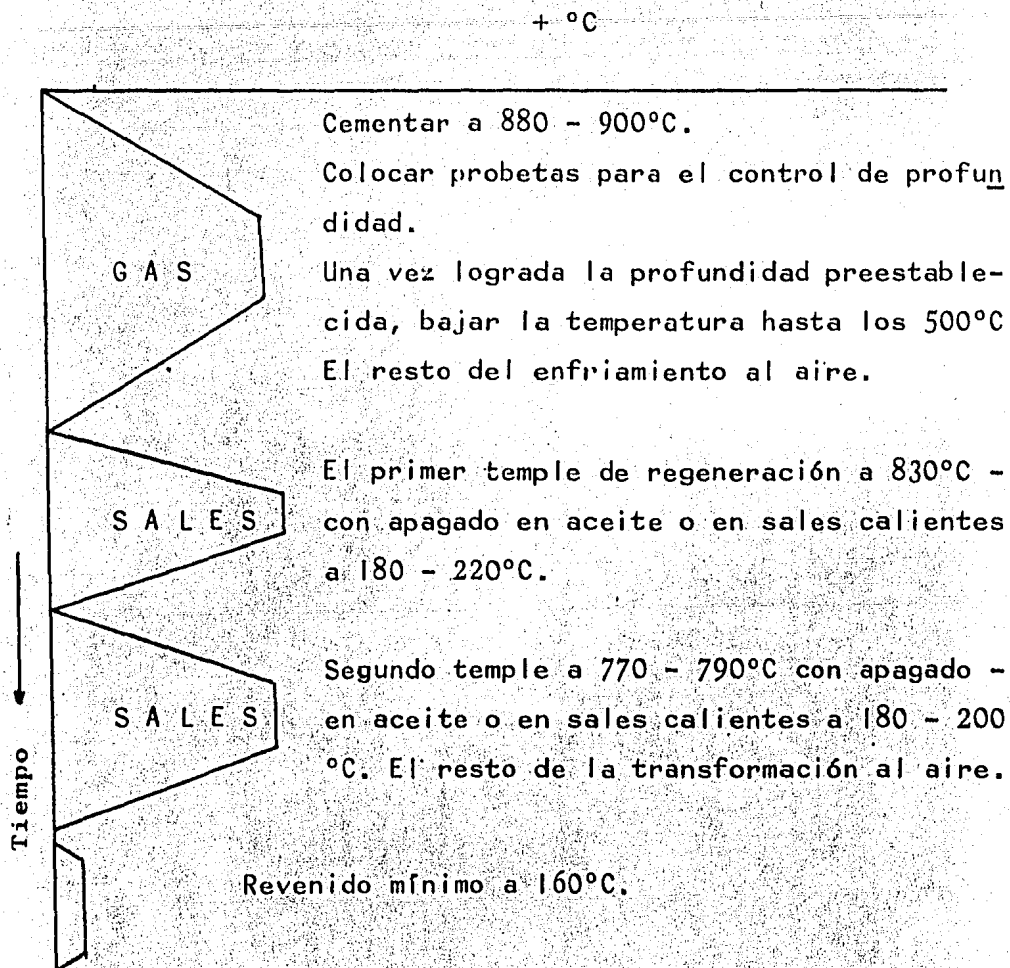
Una vez que el temple ha sido efectuado, las cestas pasan por un túnel de lavado-desengrasado y secado, siendo a continuación introducidas al horno continuo de revenido.

Las piezas en forma de corona, anillo, etc., donde un temple por inmersión en aceite originaría deformaciones, son templadas en prensas adecuadas (gleason). Las piezas son sacadas a mano del horno antes de que el elevador las introduzca en el baño de aceite, igualmente el aceite de temple utilizado en las prensas alcanza la temperatura de unos 180 °C, habiéndose comprobado que con este requisito la deformación alcanzada es mínima.

Es necesario un control periódico de los equipos empleados y de las presiones de trabajo de las prensas. Igualmente de cada 100 ó 150 piezas se verificará una de ellas dimensionalmente, comprobado si ha experimentado deformación.

Cuando se trate de piñones y coronas de diferencial y por ser menor el número de dientes que el primero, la dureza será de 2 a 3 Rockwell-C superior respecto a la corona.

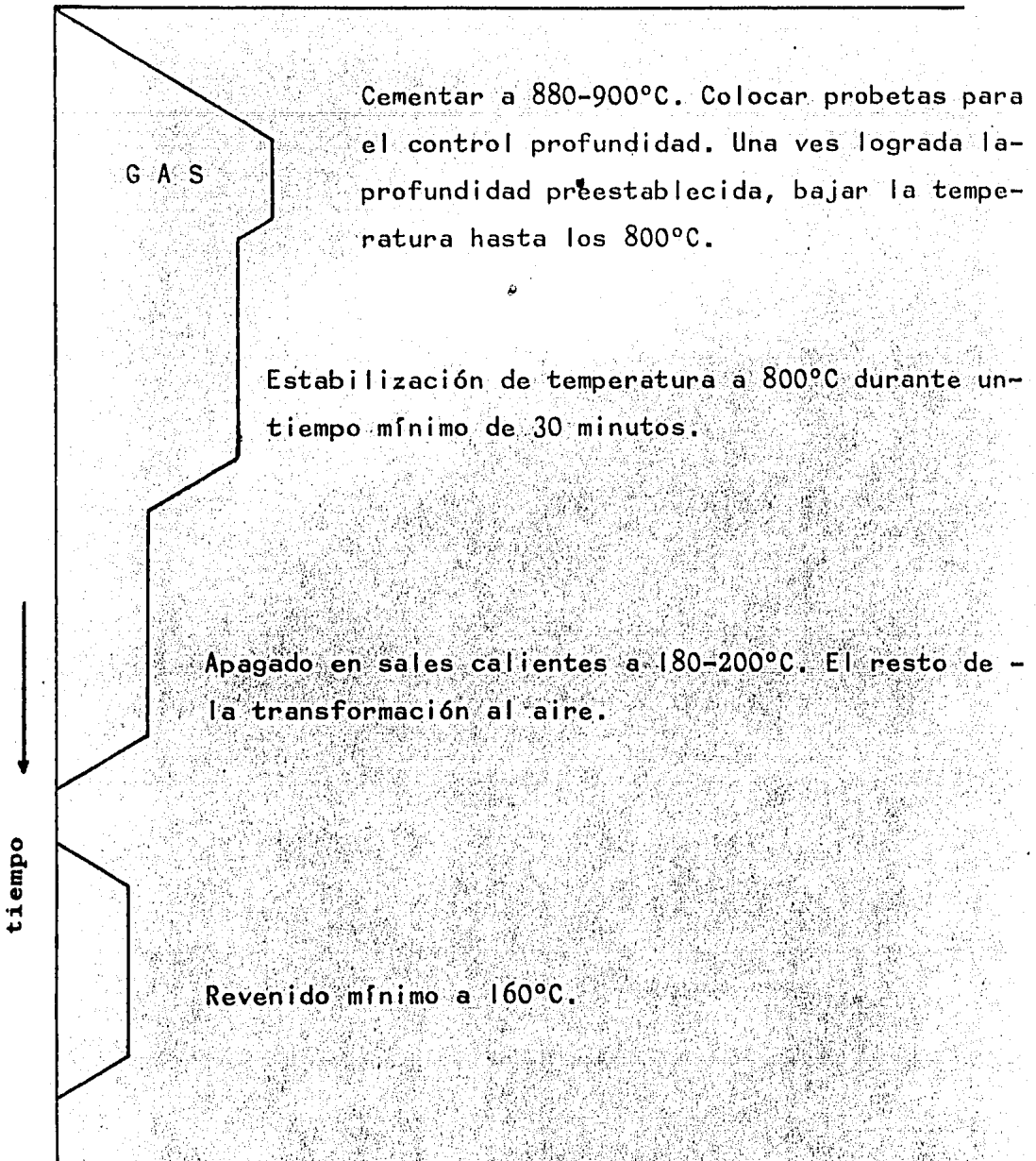
## V. 6.- EJEMPLOS DE DIVERSOS CICLOS DE CEMENTACION



A) Ciclo de cementación con doble temple y revenido aplicable en horno de cementación por goteo

Material: F - 154

T°C



B) Ciclo de cementación con temple intermedio, aplicable en -  
horno de cementación por goteo

Material: F-154



G A S

Cementar a 880-900°C. Colocar probetas para el control profundidad. Una vez -  
lograda la profundidad preestablecida,  
bajar la temperatura hasta los 500°C.  
Resto del enfriamiento al aire.

G A S

Recocido intermedio para facilitar el meca-  
nizado.  
Temperatura: 640-670°C. Tiempo 4 horas.  
Enfriamiento en el horno.

Mecanizado..

S A L E S

Primer temple de regeneración a 820-830°C -  
con apagado en aceite o en sales calientes  
a 180-220°C.

S A L E S

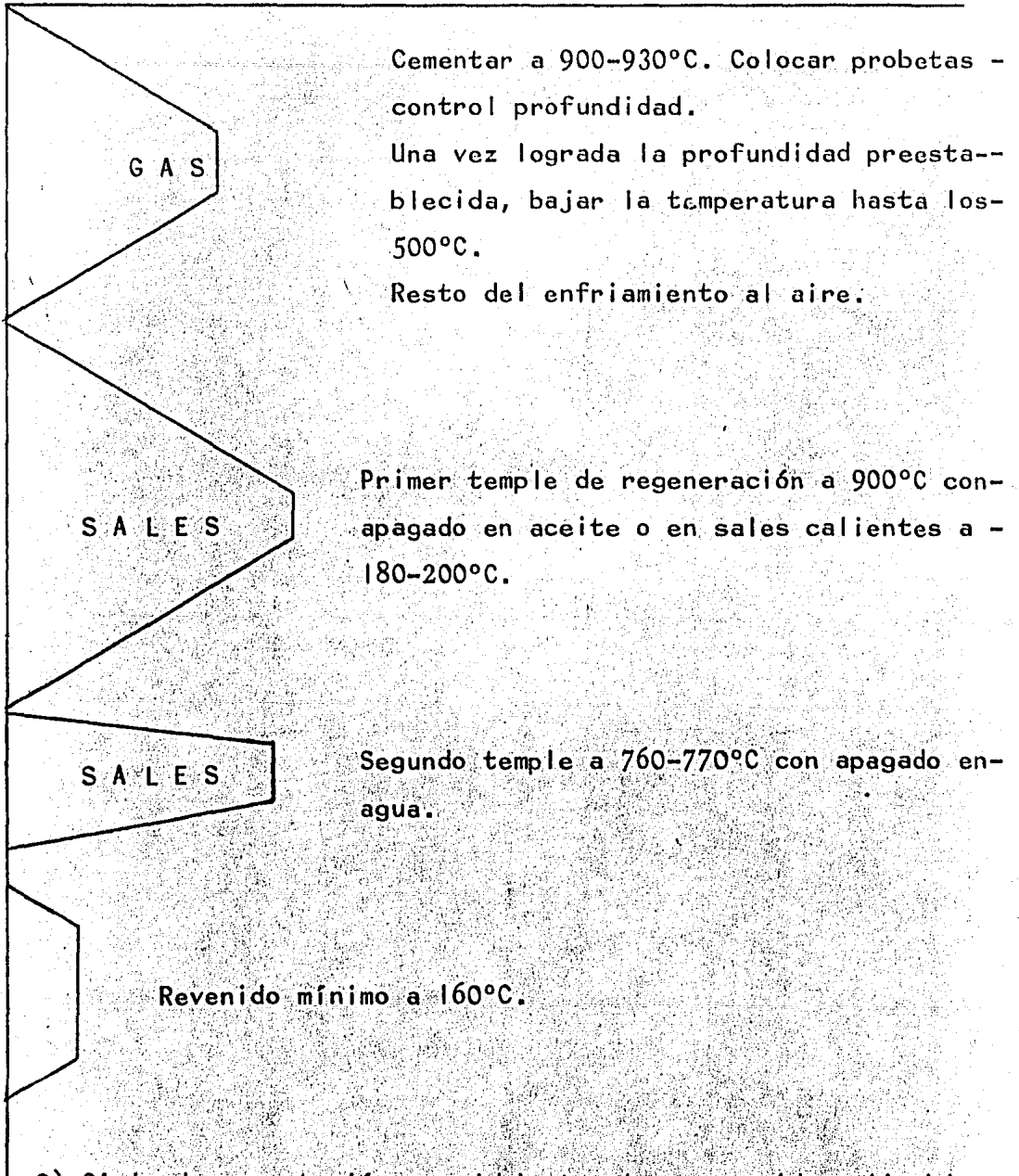
Segundo temple a 770-790°C con apagado en -  
aceite o en sales calientes a 180-220°C. --  
Resto de la transformación al aire.

Revenido mínimo a 160°C.

C) Ciclo de cementación mecanizado, intermedio, doble y revenido  
aplicable en horno de cementación por goteo

Material: F-154

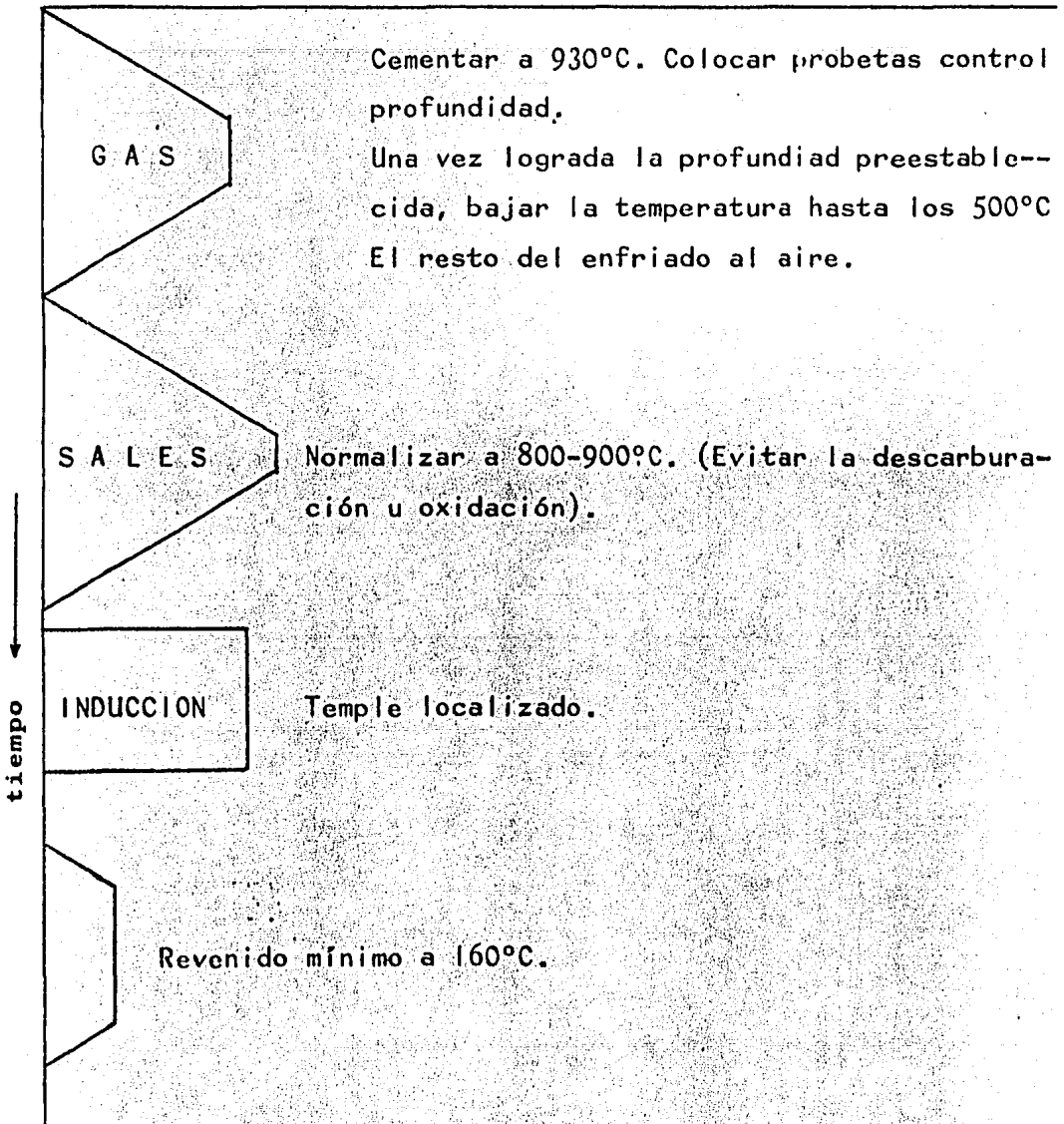
T°C



C) Ciclo de cementación con doble temple y revenido aplicable - en horno de cementación por goteo

Material: F-151

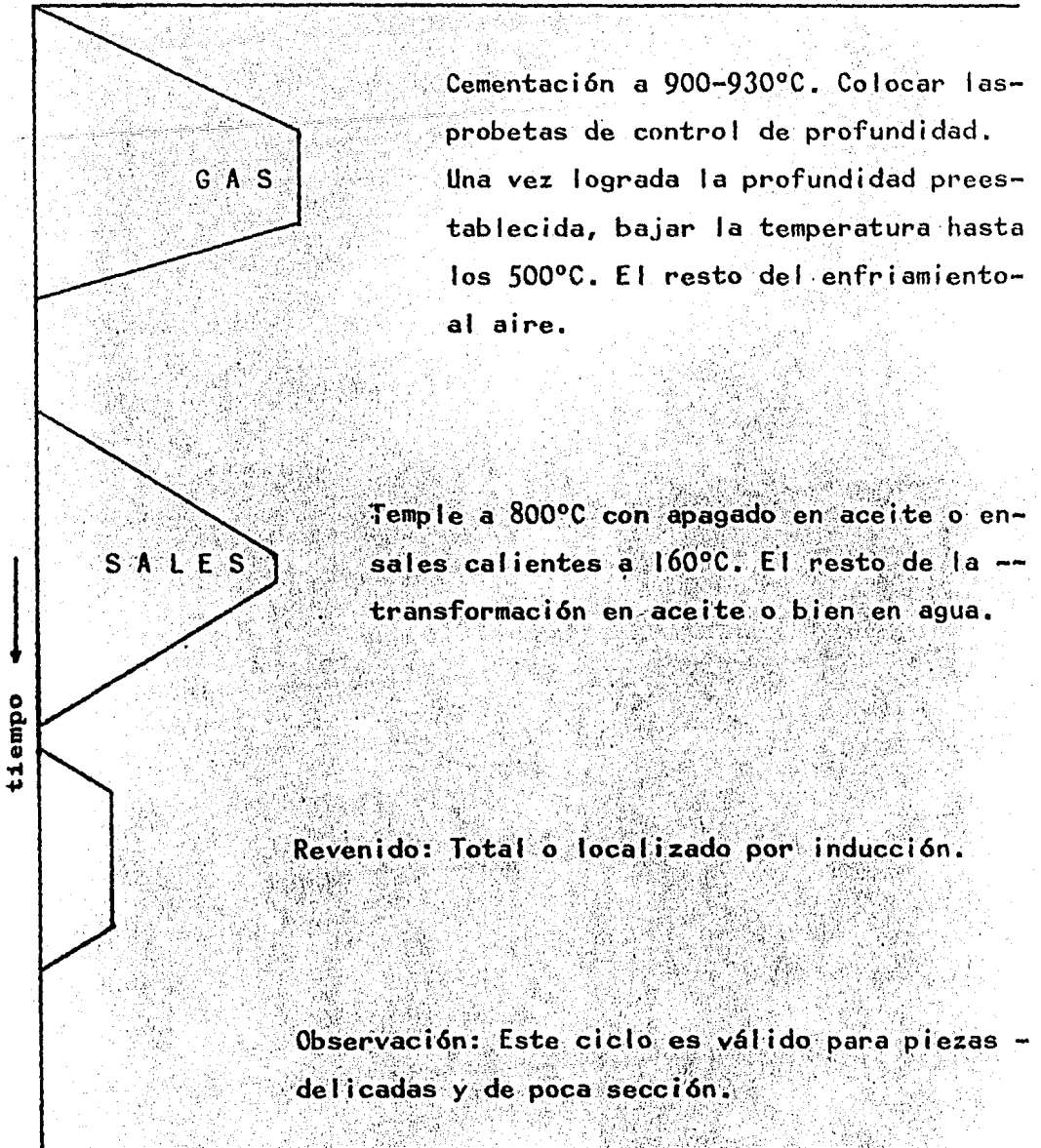
T°C



D) Ciclo de cementación, regeneración de grano y temple localizado por inducción

Material: F-151

T°C



E) Ciclo de cementación, temple revenido aplicable en horno de cementación por goteo

Material: F-151

## V. 7.- VENTAJAS Y APLICACIONES DE LA CEMENTACION EN GAS

Las ventajas de la cementación en gas son debidas a que:

- 1.- Se puede seleccionar la temperatura de cementante -- entre límites amplios;
- 2.- Es posible ajustar la cantidad de gas cementante al área de la superficies a cementar;
- 3.-Puede variarse continuamente la actividad cementante del gas, y
- 4.- Es posible acelerar la cementación mediante adiciones de metano, propano y butano.

Todo ello da la oportunidad de conseguir resultados uniformes en la cementación y evitar la formación de cementita; la profundidad de cementación se puede regular exactamente sin peligro de sobrecarburación. Además, aun con la más pequeña profundidad de cementación, puede alcanzarse en la capa el contenido de carbono necesario para el endurecimiento. El que sea -- factible controlar la forma completa de la curva de cementación abre amplias posibilidades de aplicación a la cementación con gas. El procedimiento, por otro lado, resulta especialmente --- adecuado para la automatización.

## V. 8.- AVANCES RECIENTES EN LA CEMENTACION

En los últimos avances a la cementación se encontró un nuevo agente carburante.

El carburante líquido usualmente comprende cianuro, y éste significa gastar dinero para liberarse del cianuro así co-

mo para eliminar cualquier posibilidad de contaminación. Para evitar estos gastos se ha desarrollado un nuevo agente carburante líquido comercial el cual no comprende cianuro. Se afirma -- que el nuevo carburante contiene un potencial de carbono de 0,9 a 1,00 a 870 - 950°C.

El proceso es igual al del carburante normal. El líquido - carburante está compuesto de una base fina de sal y de un aditivo, es no hidrocópico y puede ser usado con sales de baja temperatura.

Es mucho menos caro que las sales carburantes de cianuro.

## C A P I T U L O    S E X T O

### DEFECTOS DURANTE EL PROCESO DE CEMENTACION

#### VI. 1.- DEFECTOS EN EL PROCESO DE DIFUSION DE CARBON

La presencia de cementita en las capas cementadas influye mucho sobre el empleo de las piezas. Se prefieren las capas -- con contenidos de carbono de 0,8 a 0,9 % , pero solo se las -- puede obtener con grandes profundidades de cementación mediante el tratamiento con gas. Las capas cementadas profundas obtenidas por los demás procedimientos contiene mas de 0,8 % de -- C. Como para la formación de martensita se emplea solo el carbono disuelto en la austenita a la temperatura de temple, el resto queda en forma de cementita incluso después del temple.- Si la cementita se encuentra en forma de glóbulos finamente dispersos la estructura posee una buena resistencia al desgaste.- Cuando la cementación es excesiva (sobrecementación) es frecuente que se formen redes de cementita ( Figura 13), que dan mucha fragilidad a la capa y únicamente se pueden eliminar --- por doble temple. Pueden, además, ser causa de desconchaduras, que son producidas por las estructuras sin pulimento ( capas con granos columnares) estas capas frágiles saltan en los vértices y en los cantos al efectuar el temple. Las estructuras sin pulimento se encuentran por lo común cuando se temple directamente desde la temperatura de cementación, en cuyas condiciones se reduce la tenacidad de la capa cementada.

Si se temple directamente desde la temperatura de cementación, no se transforma totalmente la austenita. La residual --- (Fig 14) aumenta el peligro de las grietas de rectificado y se-



—Red de cementita en la capa cementada de un acero (500 aumentos).

FIGURA ( 13 )



—Austenita residual en la capa cementada de un acero (500 aumentos).

FIGURA ( 14 )

elimina parcialmente templado desde la temperatura de cementación en un baño intermedio, a temperaturas de  $550^{\circ}\text{C}$ , o por un recocido intermedio antes del temple de la capa cementada.

Cuando el enfriamiento no es suficientemente rápido, lo que ocurre a menudo cuando se temple en baños calientes, se producen zonas blandas, que aminoran las resistencias al desgaste y a la fatiga de las piezas cementadas y exigen la repetición del temple.

## VI. 2.- DEFECTOS MAS FRECUENTES EN LOS BAÑOS DE SALES, CRISOLLES Y HORNOS

1.- El contenido de cianuro del baño desciende demasiado



rápidamente.

### C a u s a s

Han llegado al baño sustancias que descomponen los cianuros.

Se sobrecalentó el baño o estaba mal cubierto.

La mezcla del baño no es la debida.

### 2.- El baño forma espuma

Han llegado al baño sustancias que descomponen los cianuros.

### S O L U C I O N E S

Desenlodar el baño. Emplear como cubierta carbón o grafito escamoso puro; no dejar entrar en el baño virutas metálicas, piezas con cascarilla o herrumbre ni materiales cerámicos (barro, ladrillos); en caso necesario, chorrear con arena las piezas a tratar.

Comprobar la instalación pirométrica. Cubrir suficientemente con carbón o grafito escamoso puro.

Preparar de nuevo el baño ateniéndose a las prescripciones.

Desenlodar el baño. Emplear como cubierta carbón o grafito escamoso puro; no dejar entrar en el baño virutas metálicas, piezas con cascarilla o herrumbre ni materiales cerámicos (barro

Se sobrecalentó el baño o estaba mal cubierto.

La mezcla del baño no es la debida.

El baño ha funcionado temporalmente con cantidad insuficiente de cianuro y se han atacado las paredes del crisol; hay en el baño metales ligeros o de color.

Calentamiento irregular.

ladrillos); en caso necesario, chorrear con arena las piezas a tratar.

Comprobar la instalación pirométrica. Cubrir suficientemente con carbón o grafito escamoso puro.

Preparar de nuevo el baño ateniéndose a las prescripciones.

Desechar el baño de sales. Limpiar el crisol a fondo, si es necesario cepillándolo o tornéandolo. Volver a preparar el baño ateniéndose a las prescripciones.

Conducir correctamente la llama. Mantener limpia la cámara de combustión.

### 3.- El baño salpica

#### C a u s a s

Humedad de las piezas o sales húmedas.

Llegaron al baño sales que contenían nitratos o piezas -

#### S O L U C I O N E S

Precalentar las piezas, almacenar las sales bien secas; los cianuros húmedos no se pueden aprovechar y es inútil secarlos.

Lavar bien las piezas, limpiarlas y secarlas.

que las llevaban adheridas. Al sumergir las piezas en baños calientes, a base de nitratos, era demasiado elevado el contenido de cianuros del baño de calentamiento.

Los baños activados que contienen cianuros se enfrían demasiado rápidamente en el crisol; el contenido del baño puede salpicar y ser expulsado aun varias horas después de estar fuera de servicio y al volver a calentarlo.

Emplear baños de calentamiento con un contenido máximo de cianuro del 10% de NaCN.

Eliminar siempre el lodo del fondo del baño. Para interrumpir el funcionamiento: dejar el crisol lleno hasta solo el 75% de su capacidad; cerrar tiros y aspiración, colocar pernos cónicos en el baño; poner la tapa y sujetarla. Al volver a calentar, no hacerlo demasiado rápidamente, reduciendo el paso de los quemadores; el calentamiento debe alcanzar también a la parte superior del crisol.

#### 4.- Costras duras en la superficie del baño.

##### C a u s a s

La temperatura necesaria de trabajo está demasiado próxima al punto de fusión del baño.

##### S O L U C I O N E S

Emplear baños utilizables para temperaturas más bajas; en los que contienen cianuros, emplear cantidad suficiente de sal de fondo nueva.

Enfriamiento excesivo de la superficie del baño por una aspiración demasiado energética.

Separación de una costra -- negra de carbón en los baños de cementación, incluyendo los que contienen cianuros.

Costras cubrientes blancas-grises indican empobrecimiento en cianuro de los baños activados.

#### 5.- Baño viscoso

##### C a u s a s

La temperatura necesaria de trabajo está demasiado próxima a la de fusión del baño.

Ajustar el tiro de la aspiración.

Quitar la costra de carbón. Dejar marchar largo tiempo al baño a unos 930°C; añadir más a menudo y en pequeñas cantidades la sal -- necesaria para rellenar; -- utilizar únicamente sales -- secas. La costra de carbón -- que se ha quitado puede emplearse más tarde, si es necesario, como carbón de cubierta.

Añadir sal de acuerdo con las prescripciones.

##### S O L U C I O N E S

Emplear baños utilizables -- para temperaturas más bajas en los que contienen cianuros, emplear cantidad suficiente de sal de fondo nueva.

Intensa descomposición por impurezas; contenidos de cianuro demasiado bajos; sobrecalentamiento y cubierta defectuosa.

La mezcla del baño no es la debida.

Hay demasiado carbón de cubierta o grafito, o este no es el adecuado.

6.- Lodo de fondo en el baño.

#### C A U S A S

Han llegado al baño cascari-  
lla y otras impurezas

Desenlodar el baño. Renovar parcialmente el caldo; si es necesario, desecharlo; limpiar el crisol a fondo cepillándolo o torneándolo; preparar de nuevo el baño ateniéndose a las prescripciones.

Volver a preparar el baño de nuevo ateniéndose a las prescripciones.

Desescoriar el baño y, en caso necesario, renovarlo parcial o totalmente. Emplear carbón de cubierta o grafito escamoso puro y no cubrir con un espesor excesivo.

#### S O L U C I O N E S

Desenlodar el baño. Emplear como cubierta carbón o grafito escamoso puro; no dejar entrar en el baño virutas metálicas, piezas con cascari-  
lla o herrumbre ni

materiales cerámicos (barro, ladrillos); en caso necesario, chorrear con arena las piezas a tratar.

## 7.- Ataque de la cara interior del crisol

### C a u s a s

Contenido de cianuro demasiado pequeño.

Los baños exentos de cianuros se calientan a temperatura excesiva.

Al cambiar la carga, quedan al descubierto las paredes incandescentes del crisol.

### S O L U C I O N E S

Desechar el baño de sales. - Tornear el crisol o emplear uno nuevo; preparar de nuevo el baño ateniéndose a las prescripciones; después de bien limpios, se pueden utilizar los crisoles viejos para baños exentos de cianuros.

No se pueden evitar el ataque ligero de las paredes; - desenlodar el baño y mantener las temperaturas de trabajo previstas.

Acelerar el cambio de la carga total o subdividir la carga, de manera que, simultáneamente, se introduzca una cantidad equivalente de carga nueva.

Lodo en el fondo de baño.

Desenlodar el baño.

La mezcla del baño no es la debida.

Volver a preparar de nuevo el baño ateniéndose a las prescripciones.

## 8.- Mala duración del crisol

### Causas

Cuidado deficiente del horno

### SOLUCIONES

Tornear el crisol, eliminar la cascarilla, reparar los revestimientos.

Llama oxidante por mal ajuste de los quemadores.

Los dardos de llama se deben ver en el cierre del tiro, o a través de mirillas entre el horno y la cámara de precalentar; instalar una regulación automática; por el contrario, los crisoles protegidos por la cascarilla deben funcionar con exceso de aire hasta que formen la capa protectora.

Sales en la cámara del horno.

Los crisoles deben apoyarse en la placa del horno en forma que no sea posible que el caldo pase a la cámara del horno; en caso necesario, hacer la junta estanca con as-

besto o barro.

Crisol calentado a temperatura alta con demasiada rapidez

Mantener los tiempos de calentamiento prescritos.

## 9.- Estrechamiento del crisol

### C a u s a s

Empleo del crisol a la temperatura de transformación del material del que está hecho.

### S O L U C I O N E S

Modificar la temperatura o utilizar otro material para el crisol.

## 10.- Escaso rendimiento del horno

Falta de aire o de gas.

Limpiar las tuberías; si es preciso, modificarlas (Mayores diámetros, menores curvaturas).

Poca potencia del soplador o aspiración excesiva.

Comprobar la conexión de los motores y el sentido de rotación; cerrar la aspiración en la proporción necesaria.

Excesiva radiación de calor -- por cubierta insuficiente del baño.

Quando es admisible, cubrir el baño con carbón o con grafito escamoso puro.

## 11 .- Zúmbido de los mecheros



## C a u s a s

## S O L U C I O N E S

Mezcla defectuosa de gas y -  
aire.

Menos aire o más presión de  
gas.

Ajuste erróneo de las toberas.

Ajuste las toberas correcta-  
mente.

### 12.-Alabeo de la placa del horno.

Los gases calientes alcanzan-  
a la placa

Reparar el revestimiento y-  
rellenar debajo de la placa;  
si es necesario, enderezar-  
la placa.

El borde del crisol está dema-  
siado caliente

Disminuir la altura de ni-  
vel del baño.

### 13.- Defectos debidos a los electrodos

Mala duración de los electro-  
dos por emplear material ina-  
decuados y secciones pequeñas.

Emplear solamente aceros --  
suaves no aleados (CK 10, -  
hierro Armco), pues los ace-  
ros aleados tienen un punto  
de fusión más bajo; emplear  
secciones mayores.

Fusión de las herramientas o-  
piezas.

Las piezas no deben tocar--  
a los electrodos; al intro-  
ducir y sacar las de gran--  
des dimensiones debe cortar  
se la corriente.

## VI. 3.- DEFECTOS EN EL RECOCIDO Y EN EL TEMPLE

6.3.1. Grano Basto.- Con la excepción de los aceros austeníticos y los ferríticos que no sufren transformaciones, se obtiene en todos los demás un grano fino cuando se les calienta escasa-mente por encima del punto  $A_3$ .

El calentamiento a temperatura demasiado alta o durante demasiado tiempo conduce a la formación de grano basto, y al fenómeno se le llama "sobrecalentamiento". El embastecimiento del grano afecta de modo desfavorable a los tratamientos térmicos posteriores.

En los suministros de productos laminados, piezas forjadas y semiacabados hay que comprobar la estructura presente y asegurarse de que será buena como estructura inicial para el tratamiento térmico subsiguiente. El grano basto se puede eliminar por un tratamiento de normalización.

La tendencia al embastecimiento del grano es diferente para los distintos tipos de acero e incluso para las distintas coladas del mismo tipo de acero. Depende principalmente de la cantidad y naturaleza de los gérmenes de cristalización presentes en el acero. Los aceros no aleados y los que tienen adiciones de elementos aleantes que favorecen la disolución de los carburos (Por ejem. el manganeso) muestran embastecimiento de grano incluso después de sobrecalentamientos pequeños. En tales casos, es conveniente precalentar a una temperatura muy cercana a la de temple, pasar luego las piezas al baño a la temperatura de temple, mantenerlas en él tiempo necesario para que se caliente

toda la sección y templarlas inmediatamente.

Es necesario tener cuidado para no introducir en un baño de sales una cantidad tan grande de material a temprar que se produzca una caída excesiva de la temperatura, porque en este caso suele ser necesario mantener las piezas demasiado tiempo en el baño fundido (recalentamiento) y ello puede acarrear embastecimiento del grano.

Los aceros sobrecalentados pueden regenerarse por tratamientos adecuados. Esa regeneración se logra con un calentamiento breve, a temperaturas superiores a  $A_3$ , o por uno largo, a una temperatura más baja (700°C, aproximadamente, para los aceros no aleados y más alta o más baja para los aleados). El primer procedimiento se emplea preferentemente para los aceros y Hipoeutectoides, y el segundo, para los hipereutectoides. Si en estos últimos se ha formado una red de carburos o partículas gruesas de ellos, como consecuencia de un exceso de mantenimiento a temperatura y un enfriamiento lento, es preciso realizar antes del recocido de afino del grano un calentamiento para redissolver los carburos. En los aceros muy aleados, por ejemplo los aceros rápidos en los que el sobrecalentamiento forma ledeburita, no es posible conseguir por un tratamiento térmico posterior una estructura que los vuelva a hacer aprovechables.

En el recocido de recristalización de los aceros deformados muy intensamente en frío se obtiene una estructura de grano fino, pero si la deformación fue muy pequeña y quedó dentro de cierto intervalo crítico, se origina un grano muy basto, que se puede eliminar luego por normalizada.

La figura ( 15) muestra la estructura de un acero correctamente normalizado. Se ve claramente el grano fino y uniforme.-- Las figuras ( 16 y 17 ) muestran los efectos de las temperaturas de recocido demasiado altas y de los tiempos de mantenimiento demasiado largos. Las dos estructuras son de grano basto e -- irregular.



-Estructura de normalizado del acero CK 10 (250 aumentos).  
Fig.15



-Estructura de recocido del acero CK 10 a una temperatura demasiado alta (250 aumentos).  
Fig.16



-Estructura de recocido del acero CK 10 durante un tiempo demasiado largo (250 aumentos).  
Fig.17



Estructura en bandas en un acero no aleado (250 aumentos).  
Fig.18

En las piezas normalizadas, sobre todo en las piezas forjadas con mucha reducción de forja, se presenta, en un enfriamiento demasiado lento, una estructura secundaria en bandas además de un grano basto, que da lugar a que las propiedades mecánicas longitudinales y transversales, sean distintas ( fig. 18 ) .La estructura secundaria en bandas puede atribuirse a que las impurezas se han ordenado durante la deformación sufrida en direcciones paralelas sobre los bordes de grano y en el interior de los mismos, y, por tanto, provocan la formación de bandas de ferrita y perlita. Una estructura en bandas muy marcada puede dar lugar a una gran fragilización del material. Este fenómeno se evita si las piezas normalizadas se enfrían al aire, extendiéndolas sobre la superficie lo más amplia posible y sin formación de amontonamientos.

Otro defecto de recocido de formación de estructuras de Widmannstätten ( Fig 19 ) . Por un enfriamiento demasiado rápido e irregular desde temperaturas de recocido excesivamente altas.



Estructura de Widmannstätten  
(250 aumentos).

FIGURA ( 19 )

( 88 )

En este calentamiento a alta temperatura se forma una austenita basta que da lugar, en el enfriamiento irregular y rápido, a la separación de ferrita proeutectoide y reprime la formación ordenada de la perlita. Esta ferrita proeutectoide se observa en forma de placas y lanzas ( estructura Widmannstätten) .

La estructura en cuestión hace disminuir considerablemente la resistencia a la tracción y la elasticidad, y se presenta especialmente en el recocido defectuoso del acero moldeado y en los cordones sobrecalentados de soldadura. Un tratamiento correcto de normalización elimina la estructura de Widmannstätten, consiguiéndose una distribución uniforme de la ferrita y de la perlita.

Cuando en el tratamiento térmico se calienta un acero a temperatura tan alta y durante tanto tiempo que es posible la penetración del oxígeno a lo largo de los bordes de grano y la oxidación de estos, se dice que el acero se ha quemado. El acero es tan frágil en esta condición que se rompe si se intenta deformarlo y por esta razón no se le puede utilizar. El acero quemado no se puede regenerar.

El sobrecalentamiento intenso o el quemado se reconocen por el aspecto centelleante de la fractura de grano basto.

Otro defecto debido a un tratamiento de recocido demasiado largo es la descarburación de la superficie del acero, que es tanto más intensa cuanto más largo ha sido el recocido y cuanto más rica era la atmósfera en gases oxidantes. este fenómeno se hace especialmente notable en los aceros con alto con-

tenido de carbono.

Actúan como descarburantes el oxígeno, el hidrógeno y el dióxido de carbono. Oxidan primero a la cementita existente en la superficie y luego al carbono, formando CO y CO<sub>2</sub>. Estos gases se van a la atmósfera externa. Desde el interior del acero emigran continuamente átomos de carbono hasta la superficie y ahí vuelve a repetirse la oxidación. De esta manera, se forma sobre la superficie de la pieza una capa que prácticamente solo contiene ferrita. El efecto descarburante del hidrógeno se manifiesta para temperatura de recocido comprendidas entre A<sub>1</sub> y A<sub>3</sub> en una formación columnar de la ferrita, de la que se ha eliminado el carbono en forma de hidrocarburos.

La figura (20) muestra la estructura de un acero que se ha descarburado intensamente por un recocido de larga duración en atmósfera oxidante.



-Capa descarburada de un acero no aleado (250 aumentos).

FIGURA ( 20 )

Los aceros descarburados tienden a romperse por fatiga durante el servicio, como consecuencia de que la capa de ferrita es blanda, sensible a las entallas y se comporta peor que la perlita en las sollicitaciones de fatiga.

En el recocido de ablandamiento de los aceros de herramientas se produce por descarburación perlita laminar, que empeora la tenacidad, la estricción y la conformación plástica.

La descarburación se evita, o se mantiene dentro de límites pequeños, ateniéndose a las duraciones prescritas para los recocidos, o realizando el tratamiento en una atmósfera neutra (recocido en atmósfera controlada protectora). El empaquetamiento del producto a recocer en viruta de fundición gris o menudos de coque y el recocido en baño de sales también evitan la descarburación de la superficie del acero.

6.3.2. Falta de dureza.- Si la falta de dureza puede atribuirse a un mal tratamiento de temple o a la presencia de una piel blanda es algo que puede ilustrar realizando ensayos de dureza con cargas crecientes o decrecientes, o eliminando por rectificado capas muy delgadas. Si la falta de dureza se debe a un tratamiento inadecuado, no se observan diferencias en estos ensayos mientras que si existe una piel blanda, se obtienen durezas más pequeñas al disminuir la carga o durezas más elevadas después de rectificadas con eliminación de espesores crecientes.

La existencia de zonas blandas debidas al material se reconoce porque los puntos blandos vuelven a presentarse en la misma posición después de un nuevo temple, mientras que las debidas



a defectos de temple aparecen en lugares variables.

Al ensayar la dureza de las piezas cementadas especialmente cuando las profundidades de cementación son pequeñas, suele ocurrir que se emplean cargas demasiado grandes y se atraviesa la capa cementada, con la consecuencia de que se obtienen valores de la dureza demasiado pequeños. La carga empleada en el ensayo debe acomodarse a la profundidad de la cementación.

Se pueden presentar los siguientes defectos:

1.- Velocidad de enfriamiento insuficiente.- Es bien sabido que el acero debe enfriarse desde la temperatura de temple con la rapidez necesaria para que se forme con seguridad la estructura martensítica. La elección del medio de temple a realizarse de acuerdo con la composición del acero. Aunque siempre se pretende emplear el medio de temple más suave que permita alcanzar la dureza necesaria, es preciso, en muchos casos emplear medios de más severidad; así, por ejemplo; para templear secciones grandes, aceros mal desoxidados o aceros de grano fino.

2.- Temperatura de temple demasiado baja o tiempo de mantenimiento insuficiente.- Muchas veces se comete el error de templear los aceros para temple y revenido desde temperaturas demasiado bajas, o en medios demasiado poco severos, con el fin de evitar distorsiones o ahorrarse el revenido. Estos tratamientos deben rechazarse aunque a pesar de todo se alcance la dureza Brinell exigida, porque si la transformación estructural es incompleta se perjudican la resistencia a la tracción,

la resiliencia y la resistencia a la fatiga.

Si los aceros de herramientas, especialmente los que contienen cromo, se templen desde una temperatura insuficiente o se mantienen poco tiempo a la temperatura necesaria, se consigue una dureza inferior a la debida, porque en esas condiciones no se produce la necesaria disolución de los carburos. Conviene emplear la temperatura y el tiempo correctos. Con un temple energético se obtiene la mayoría de las veces una dureza suficiente, pero con mucha distorsión y peligro de agrietamiento.

3.- Mala conservación de los baños de cementar.- Trabajando bien con los baños de sales de cementar se consiguen los contenidos de carbono y las profundidades de cementación adecuados al empleo de las piezas. Las adiciones insuficientes de sal nueva, los sobrecalentamientos temporales de los baños y la introducción de cuerpos extraños pueden producir un agotamiento de las sales y dar lugar a falta de dureza en los productos cementados.

En los baños insignificadamente o no activados se pueden producir cementaciones insuficientes si la cubierta es demasiado gruesa y no llega al caldo el oxígeno necesario para las reacciones de carburación. La cubierta de carbón se puede quitar y emplearse más tarde cuando sea necesario.

Los aceros bajos en manganeso, los de fácil mecanizado y los mal desoxidados se cementan lenta y débilmente, por lo que deben tratarse únicamente en baños activados.

4. Zonas blandas.- La causa más frecuente de la aparición de zonas blandas en la formación de burbujas de vapor sobre la superficie de las piezas que se templen en agua o en aceite; las burbujas impiden localmente el enfriamiento necesario para la formación de martensita y solo se produce troostita. Las zonas blandas pueden reconocerse por su coloración oscura en contraste con la restante superficie, dura y brillante. Templeando los aceros aleados en baños calientes se evitan las zonas blandas. Por la misma razón, se emplean para el temple soluciones acuosas con 14% de nitratos y agua con adiciones de sales especiales, como la Aquasal. Cuando se temple en aceite suele ser conveniente emplearlo caliente. También es ventajoso mover las piezas en el baño, con el fin de que se desprendan las burbujas de vapor.

Los aceros de fácil mecanizado muestran tendencia a la aparición de zonas blandas, porque tienen segregaciones de fósforo y azufre, y se cementan irregularmente. El fenómeno es menos frecuente en los aceros de fácil mecanizado altos en manganeso. Los líquidos de temple que tienen lodos deben limpiarse de éstos para evitar las zonas blandas.

En los baños de sales no se pueden realizar cementaciones parciales por aplicación de aislantes a las partes de las piezas que no deben carburarse, porque los materiales en cuestión pueden disolverse y ensuciar el baño. A pesar de ello, puede ocurrir que lleguen al baño cobre o plomo que se disuelven en él y luego se depositan sobre los productos a cementar produciendo zonas blandas. Los ejes que para rectificarlos o tornearlos se apoyan sobre lunetas de cobre o latón presentan luego

capas aislantes anulares. Los baños contaminados de esta manera no son útiles y deben sustituirse por uno nuevo fundido en un crisol también nuevo o en uno usado, pero reparado por torneado.

En el mecanizado puede ocurrir que no sea posible eliminar todas las zonas descarburadas blandas. El ensayo de dureza permite poner de relieve este defecto.

Un rectificado mal hecho ( presión excesiva, muelas embotadas o mal elegidas, refrigeración insuficiente) puede producir un efecto de revenido de la capa más externa con disminución de la dureza y zonas o piel blandas. Las zonas blandas se colorean de oscuro ( martensita revenida) en el ataque con ácido nítrico en solución alcohólica del 5 al 10 % ; la transición es muy marcada.

5.- Piel blanda.- La piel blanda debida a descarburación del acero puede existir ya en el estado inicial ( laminación, forja) o producirse durante el tratamiento térmico en los hornos de cámara. Sin embargo, se produce también en los baños desales, cuando estos no llevan ninguna adición inhibidora de la descarburación. La descarburación se evita con seguridad empleando baños de sales con adiciones de cianuro, o baños inertes.

En los aceros de cementación al cromo-níquel y también en los cromo-molibdeno se comprueba la existencia de una piel blanda después del temple ( especialmente en cementaciones de larga duración) , que ha de atribuirse a la presencia de austenita residual. Mediante un recocido intermedio a temperaturas de 630- a 650°C o de 650 a 680°C y duraciones de 1 a 2 horas, y templando a la temperatura más baja posible, se eliminan estos defectos.

Si la velocidad de enfriamiento en el temple es demasiado pequeña, se forma troostita, que origina también una piel blanda. Para conseguir la formación de martensita hay que enfriar con más rapidez que la usual y, si es necesario, se aumenta -- la temperatura de temple.

Los aceros altos en cromo tienden a oxidarse incluso en los baños que contienen cianuros y el efecto se hace notar como piel blanda. La oxidación no se produce en los baños inertes.

## CAPITULO SEPTIMO

### TIPOS DE HORNOS EMPLEADOS

El término hornos industriales, abarca sólo aquellos en los que se imparte el calor a la carga para elevar la temperatura de ésta, sin que se pretenda tenga lugar ninguna reacción química o cambio de estado, tal como fusión o vaporización. Tales hornos pueden también denominarse "hornos de calentamiento de metales". En el trabajo de los metales, la temperatura desempeña un papel de gran importancia. Las temperaturas elevadas vuelven más blandos la mayoría de los metales, capacitándolos para las operaciones de deformación por flexión, forjaestampación, extrusión o laminación. Las temperaturas todavía más elevadas funden los metales y también eliminan la calidad de los mismos; el proceso de calentamiento de los metales con este fin, enfriando después de modo que no se produzca ninguna deformación, se conoce como recocido. La elevación de la temperatura por encima de un cierto punto crítico, seguida de un enfriamiento brusco, vuelve el acero más duro y resistente pero con una ductilidad menor. Un nuevo calentamiento a una temperatura inferior al punto crítico disminuye la dureza y aumenta la ductilidad. Se conoce como tratamiento térmico el proceso completo que tiene por objeto producir unas propiedades físicas deseadas, controlando la estructura cristalina. Las subdivisiones del tratamiento térmico son muy numerosas e importantes. También se calientan los metales para absorber el carbono, como en el caso de la cementación o para cambiar el estado de los compuestos de carbono, como en el recocido de piezas de fundición maleable.

El calentamiento de los metales, cualquiera que sea su objeto, se realiza en hornos, que se denominan comúnmente hornos de calentamiento, hornos de recalentamiento, hornos de recocido y hornos de tratamiento térmico.

Todos los hornos que tengan un espacio a los gases y un caldeo uniforme son fundamentalmente adecuados para nitruración o la cementación en gas. Deben poseer, además, una instalación de circulación para que el gas activo bañe y se renueve uniformemente sobre la superficie de las piezas. En la carga y descarga debe impedirse la entrada de aire.

La temperatura deseada en el horno se produce por la generación de calor. Se emplean dos métodos:

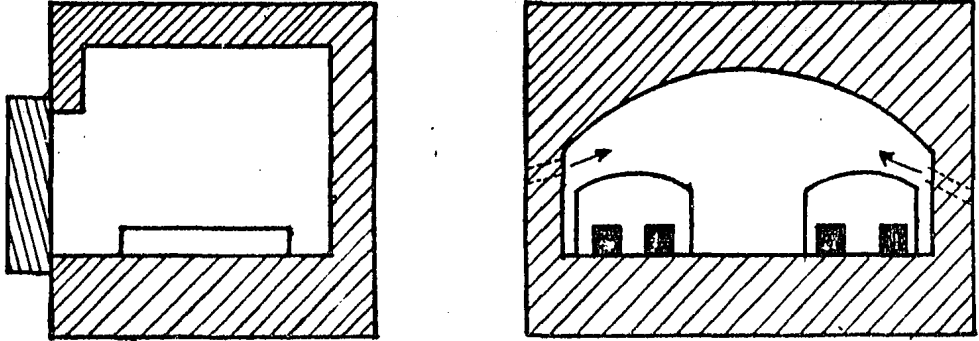
- 1.- Combustión del combustible
- 2.- Conversión de energía eléctrica en calor.

El tipo de horno de combustión se emplea mucho más que el de horno eléctrico; sin embargo, para muchas aplicaciones se prefiere el horno eléctrico porque ofrece ventajas que no pueden ser medidas por el costo de combustible.

Otra clasificación se basa en la manipulación de material en su paso a través del horno. Existen dos tipos principales:

- 1.- El horno "dentro-fuera" o tipo de horno de carga por lotes o intermitente, o periódico.
- 2.- El horno continuo.

Se ilustran estos tipos en forma de esquema en las figuras ( 21,22,23 y 24 ).



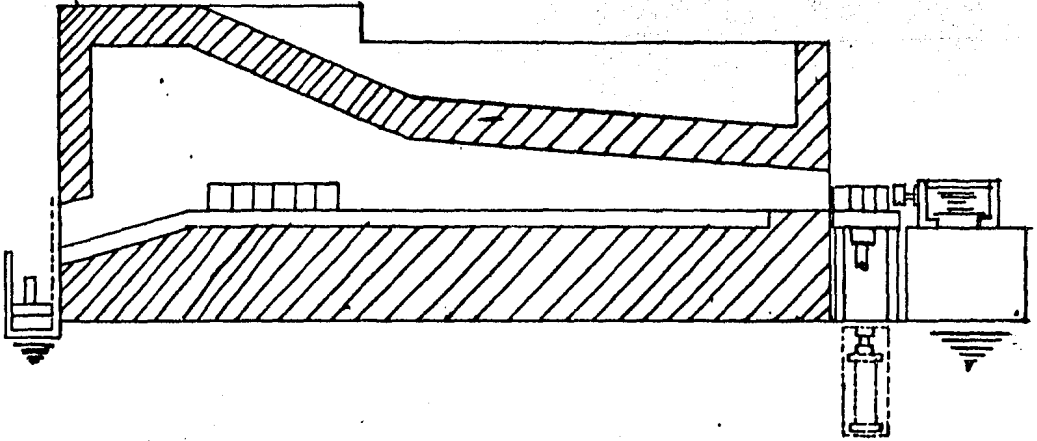
TIPO DE HORNO PARA CARGA POR LOTES O (DENTRO-FUERA)

FIGURA (21)

En el horno "dentro-fuera", la temperatura es constante, prácticamente, en todo su interior. Se coloca la pieza en una posición determinada y permanece en ella hasta que se calienta. A continuación es sacada, generalmente por la misma puerta por donde entró.



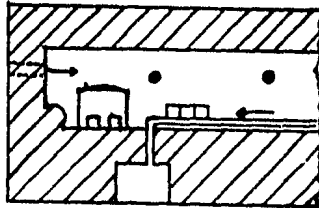
La Figura ( 22 ) muestra un horno de este tipo



**HORNO CONTINUO CON DESCARGA POR UN EXTREMO**

FIGURA ( 22 )

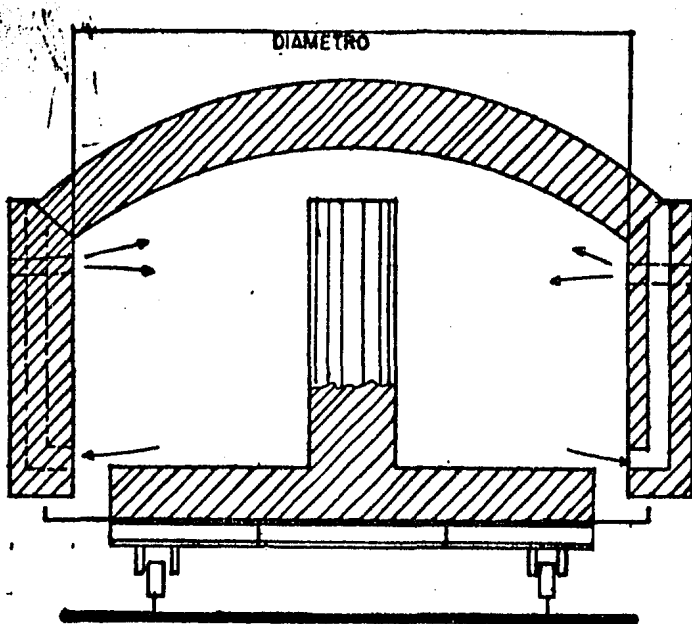
En los hornos continuos, el material cargado se desplaza mientras se está calentando. El tipo en línea recta ( Figuras- ( 22 y 23 ) ) es muy corriente.



**EXTREMIDAD DE DESCARGA DE UN  
HORNO CONTINUO CON DESCARGA  
LATERAL**

FIGURA ( 23 )

En ambos, el material pasa sobre una solera fija o a veces -- esta solera se mueve. Cuando se emplea una solera fija el ma-- terial pasa sobre patines o rodillos, tomando una inclinación-- hacia abajo por la fuerza de la gravedad, o es desplazado a -- través del horno por medio de empujadores. La figura ( 22 ) -- muestra un horno continuo con "descarga por un extremo" o, --- dicho con más propiedad, con "descarga por gravedad", mientras que la figura (23) representa la extremidad de descarga con -- "descarga lateral". Son muy utiles para muchas aplicaciones--- los hornos con solera giratoria o mesa giratoria ( figura 24 )



HORNO CONTINUO CON SOLERA GIRATORIA

FIGURA ( 24 )

La pieza es colocada en la solera y se extrae una vez que la -- mesa ha dado casi una revolución completa. También puede alimen-- tarse el material en el horno por medio de la acción de un tor-- nillo.

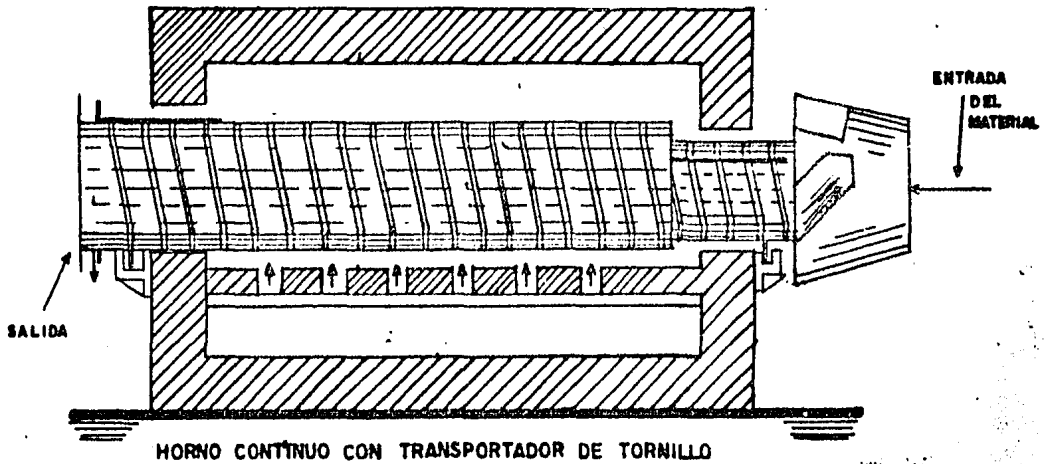
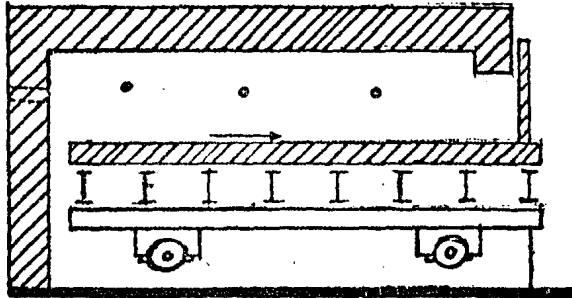


FIGURA ( 25 )

El horno es un tubo giratorio con una rosca helicoidal -- interna. El tipo de horno de carretón, que aparece en la figura ( 26 ) posee una solera móvil, que permanece, sin embargo, -- parada durante el período de calentamiento y, en algunas oca-- siones, incluso durante el período de enfriamiento. El carre-- tón se desplaza a una posición exterior al horno, para su carga y descarga. El horno se emplea principalmente para calentar-- materiales pesados o voluminosos. Un sistema similar se aplica en el tipo de horno elevador. La solera se carga a nivel del-- suelo, moviéndose después al interior del horno, lo que no se -- representa porque esta perdiendo importancia.

En los hornos que se calientan por combustión existen mu-- chas diferencias a causa de la naturaleza del combustible. Los-- hornos que queman carbón grueso sobre un hogar de parrilla po-- seen un altar o torna-llamas, sobre el que las llamas pasan al

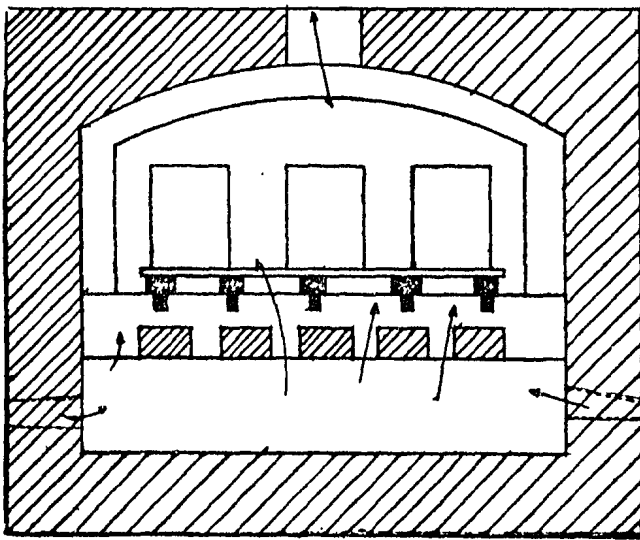
horno. Los hornos de este tipo han desaparecido prácticamente del mercado. Un pequeño número de hornos industriales quemaban carbón pulverizado.



HORNO DE SOLERA MOVIL

FIGURA ( 26 )

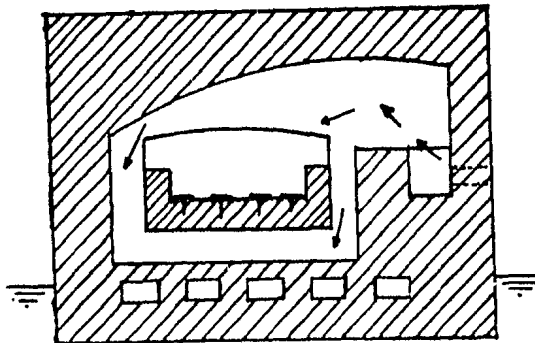
En cualquiera de estas variantes, el lugar donde se realiza la combustión y la forma de dirigir los productos de la combustión sirven de base adicional para su clasificación.-- Si las llamas se desarrollan en la propia cámara de calentamiento, como en las figuras ( 21 '6 24 ), se dice que el horno es de calefacción directa. Algunas veces también se denominan hornos de caja o tipo de estufa.



HORNO DE CALEFACCION POR LA PARTE INFERIOR

FIGURA ( 27 )

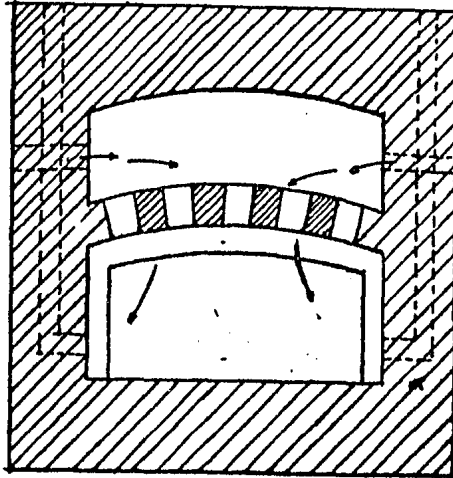
Si la llama se produce por debajo del hogar ( figura 27 ) y luego pasa hacia arriba a la cámara de calefacción, se dice que el horno es "de calefacción por la parte inferior". Si la llama aparece en una cámara de combustión, colocada a un lado de la cámara de calefacción ( Figura 28 ) se dice que el horno es "de calentamiento lateral".



HORNO DE CALEFACCION LATERAL

FIGURA ( 28 )

Finalmente, si la llama se desarrolla en un espacio encima de la cámara de calefacción ( figura 29 ), y se vierte a través de una bóveda agujereada, se dice que el horno es "de calentamiento por la parte superior".



HORNO DE CALEFACCION POR LA  
PARTE SUPERIOR

FIGURA ( 29 )

En todo este párrafo se emplea la palabra llama para expresar brevemente los "productos de la combustión fuertemente calentados". El término "horno de reverbero" comprende el tipo de horno en el que se desarrolla la llama a una cierta distancia del hogar, siendo desviada sobre éste por una bóveda en arco o inclinada. el término horno de reverbero es comúnmente empleado en la industria de la fundición de metales.

Para cementar en gas grandes cantidades de piezas se recurre a los hornos continuos, pues, además del recinto del horno propiamente dicho, poseen una esclusa de gas en la entrada y esta se cierra. Se elimina el aire insuflando gas de cementar,

se abre la puerta de comunicación, con el horno y se empuja -- dentro la pieza un trecho conveniente. A la vez se abre la -- compuerta de extracción y se saca por ella una pieza. Después de cerradas las dos puertas puede introducirse otra pieza en la compuerta de entrada y llevarse la extraída desde la com-- puerta de salida al depósito de temple, o bien se la saca y-- se deja enfriar lentamente al aire.

En los hornos continuos suele emplearse el caldeo por -- tubos radiantes. Las llamas de gas arden en tubos curvados -- en U y los gases de la combustión pasan a través de ellos. -- Los tubos radiantes, dispuestos debajo de la bóveda y de la-- placa de solera, permiten un calentamiento muy uniforme.

En los hornos continuos, las piezas se mueven de forma-- continua o intermitente a través de ello, las piezas pueden-- ser empujadas o rodar, o pueden apoyarse sobre una solera --- giratoria o estar suspendida de un transportador elevado. Los hornos continuos en los que la carga se apoya sobre bateas - que se empujan a través del horno o se apoya sobre cadenas mó- viles o sobre rodillos, se denominan comúnmente automáticos.

Un horno continuo puede calentarse de tal manera que la- temperatura de los productos de combustión es prácticamente -- constante en cualquier punto del horno.

Esta uniformidad de temperaturas puede obtenerse por calefacción frontal en varias zonas, como aparece en la figura ( 30 ), o por calefacción desde la bóveda o por calefacción lateral en varias zonas como se indica en la figura ( 31 ).

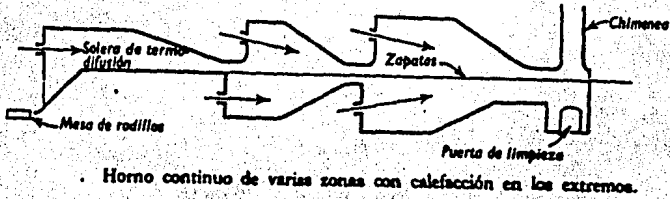


FIGURA ( 30 )

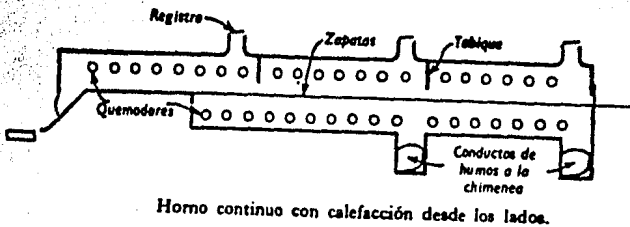


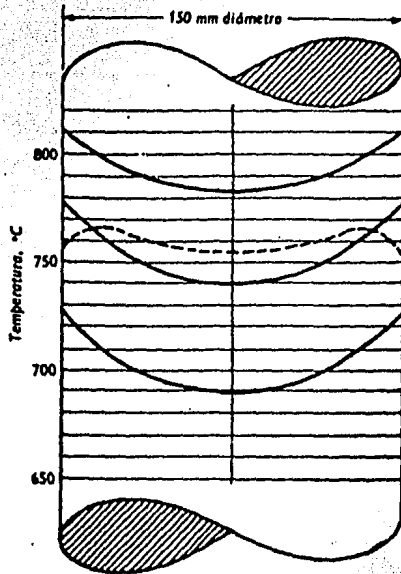
FIGURA ( 31 )

En estos hornos la capacidad de calentamiento por lo menos iguala e incluso supera la capacidad de calentamiento de los hornos de carga por lotes. En su origen, los hornos continuos se construían con un determinado salto térmico desde el extremo de descarga ( de las piezas ) al extremo de carga



( de las mismas ), pero desde 1948 se han construído hornos continuos para el calentamiento de temperatura constante, con el fin de mantener hornos de longitud reducida. Las afirmaciones relativas a los hornos discontinuos y continuos puede aplicarse a los hornos caldeados por arriba, los cuales están a una temperatura que corresponde a la temperatura del horno discontinuo. La capacidad de calentamiento de estos hornos está determinada, en consecuencia, por el area de la solera, la temperatura del horno ( que es intermedia entre la temperatura del gas y la de la pared), la emisividad de la carga, la composición y espesor de la capa de los productos de combustión y la relación de la superficie de la pared a la superficie de la carga.

La capacidad de calentamiento de los hornos continuos puede superar ( y generalmente así ocurre) a la de los hornos discontinuos que tienen las mismas áreas de solera, por dos razones: primera, mientras en los hornos de carga por lotes debe mantenerse la temperatura en la zona de calentamiento de un horno continuo, puede ser muy elevada si la pieza delgada es extraída rápidamente al alcanzar la temperatura deseada, o si en el calentamiento de piezas gruesas se equipa el horno con una zona de termodifusión en la que puede igualarse la temperatura, como aparece expresada en la figura ( 32 ) por la curva de puntos. Si las piezas tienen una conductividad térmica elevada no se necesita zona de termodifusión. La segunda razón es que en un horno de empuje las piezas calientes pueden estar soportadas por tubos ripadores, de manera que puede impartirse gran cantidad de calor a la parte inferior de las piezas.

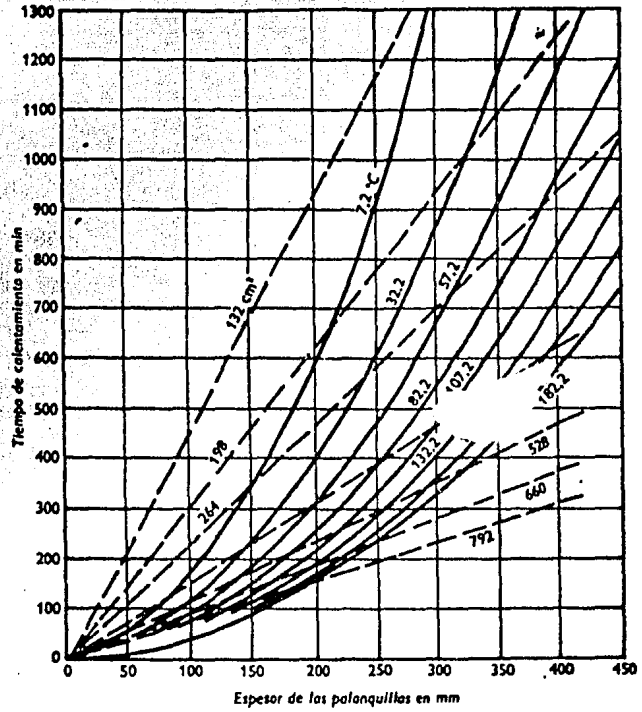


Igualación de temperatura obtenida por interrupción del suministro de calor.

FIGURA ( 32 )

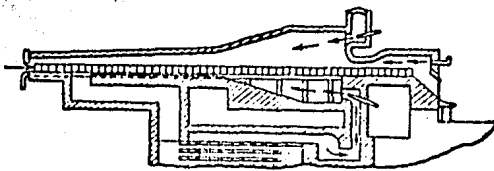
Es el espesor de la pieza a calentar no limita tanto en los hornos continuos la capacidad de calentamiento como lo hace en los hornos discontinuos, porque el calor puede impartirse a la pieza desde abajo. El efecto limitador del espesor varía con la conductividad térmica de la carga y con la uniformidad requerida de la temperatura en el material caliente. La figura ( 33 ) muestra las relaciones entre el espesor del material, el tiempo de calentamiento, la diferencia de temperatura en la carga y la cantidad de calentamiento en kilogramos por metro cuadrado y por hora para el acero suave que es calentado a  $1204^{\circ}\text{C}$ .

La calefacción "triple" de los hornos continuos se refieren al calentamiento por la parte superior, por la parte inferior y calefacción independiente de la zona de termodifusión ( figura 34 )



Diferencias de temperatura en palanquillas de acero en función del espesor y tiempo de calentamiento. Llama solamente por la parte superior. Con iguales aportaciones de calor por arriba y por abajo, con la mitad del espesor real de las palanquillas.

FIGURA ( 33 )



Horno con zona de calentamiento de combustión triple (por cortesía de Rust Engineering Co.).

FIGURA ( 34 )

Al comparar las capacidades de calentamiento de estos hornos - deberá especificarse la superficie de referencia de la solera+ si solamente existe zona de calentamiento superior, o zona superior más inferior o zona superior más inferior más zona de-- termodifusión y, finalmente, si se refiere a la superficie de-- la carga o a la superficie de la solera.

Cuando se trata de temperaturas medias y bajas se prefiere el horno con recirculación o circulación forzada, si se desea-- alcanzar una buena uniformidad de temperaturas (Figura 35).

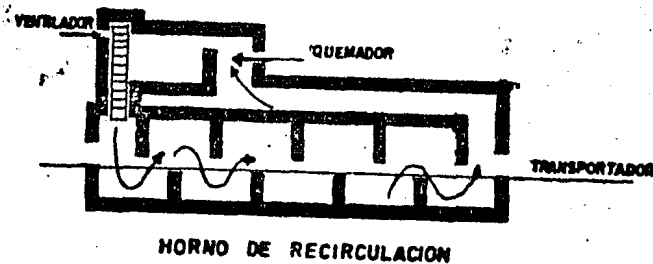
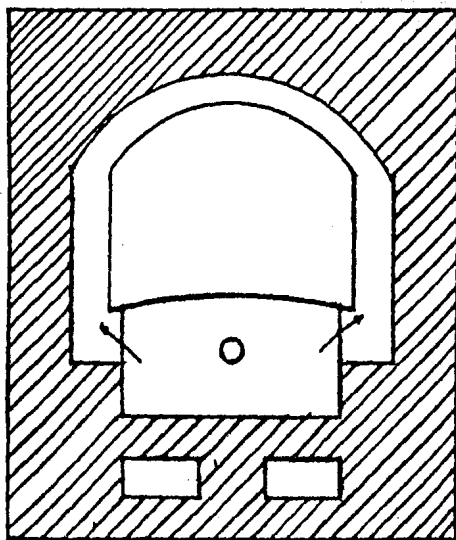


FIGURA ( 35 )

En todos estos hornos, las piezas a calentar están en con-- tacto con los productos de la combustión. Para ciertos proce-- sos este contacto perjudica a las piezas del material a calen-- tar; en estos casos, las piezas o carga se encierran en una -- mufla que, generalmente, se calienta por medio de los produc-- tos de la combustión. En la figura ( 36 ) aparece un esquema-- de un horno con mufla; se indica la mufla por medio de la lí-- nea curva cerrada dibujada con trazo más grueso. No solamente es la carga ( en este caso una pila de chapas) la que se en--

cierra en las muflas, sino que también los productos de la -  
combustión pasan a través de ellas, las cuales se denominan-  
tubos radiantes.



HORNO CON MUFLA

FIGURA ( 36 )

Muchos hornos requieren una atmósfera especial para pro-  
tección de las piezas, particularmente para evitar la oxida-  
ción o descarburación, o para otros fines, y se construyen --  
con una envolvente exterior hermética al gas, que rodea al --  
revestimiento refractario. El calor es suministrado por tubos  
radiantes que queman combustible o por elementos calefactores-  
a base de resistencias eléctricas.

Si la protección contra la temperatura elevada constituye un objetivo más importante que la protección contra la atmósfera del horno, el techo de la mufla puede ser omitido y el horno recibe el nombre de "horno de semimufla". En cierto sentido, los hornos de cuba son también hornos de semimufla, porque no existe techo en la cuba. Sin embargo, se consideran como hornos de mufla completa, porque los productos de la combustión no pueden hacer contacto con el contenido de la cuba, que puede ser un baño metálico o de sales. En la figura ( 37 ) --- aparece un horno de cuba.

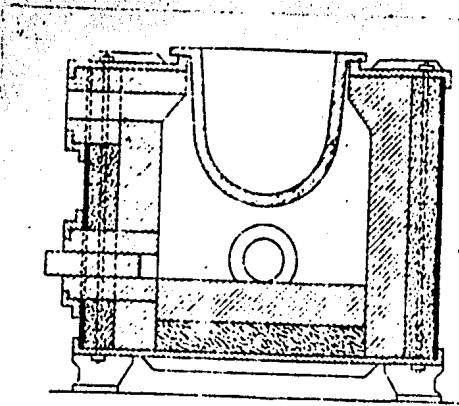


FIGURA ( 37 )

El objeto principal de una mufla es proteger la carga --- contra los efectos de los productos de combustión. Otro objetivo de la mufla es suavizar las desigualdades de temperatura -- que existen en el lado de combustión de la pared de la misma.- Una mufla que sólo sirve para igualar la temperatura es fre -- cuentemente abierta y se denomina semimufla. La mufla puede -- rodear la carga, como aparece esquemáticamente en la figura -- (38).

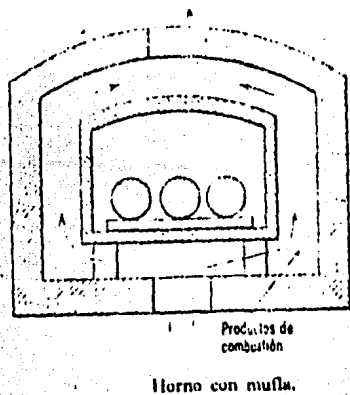


FIGURA ( 38 )

En ocasiones, puede rodear los gases quemados y, cuando es así, suele ser la mufla un tubo, TUBO RADIANTE ( Figura 40).

La capacidad de calentamiento de una mufla que rodea la carga, depende del área superficial y emisividad del material y de las propiedades de la pared de la mufla (temperatura, superficie y emisividad). Para un conjunto determinado de estas variables, la capacidad es ligeramente menor que la de un horno de calefacción directa ( que tiene la misma temperatura en la pared), como consecuencia de la ausencia de los productos de combustión que están más calientes que la pared del horno.

Respecto a las muflas que rodean la carga, deben resaltar-se los siguientes hechos. El interior de la pared de la mufla está más frío que el exterior, a causa de la resistencia térmica de la pared de la mufla. Asimismo, el exterior de la mufla está más frío que los refractarios que rodean la mufla, puesto que ésta es capa envolvente de radiación que reduce la trasmisión

sión del calor ( radiación entre sólidos) a la mitad.

La gran diferencia de temperatura en cada lado de la pared de la mufla, que se construye con arcilla refractaria, no sólo reduce la capacidad de calentamiento de la mufla, sino que obliga a los productos de combustión a salir con una temperatura -- muy elevada. Por ambas razones, se construyen las muflas con -- paredes tan delgadas como sea prácticamente posible y con materiales que tengan una elevada conductividad térmica y sean re-- sistentes al calor. Los aceros aleados y los carburos de sili-- cio son los materiales más apropiados para paredes de muflas.

Las muflas se emplean raramente en el calentamiento de metales a temperaturas superiores a 982°C a causa de los costos-- de conservación. Para temperaturas más bajas, se emplean los -- hornos calentados eléctricamente y hornos con tubos radiantes-- y circulación forzada.

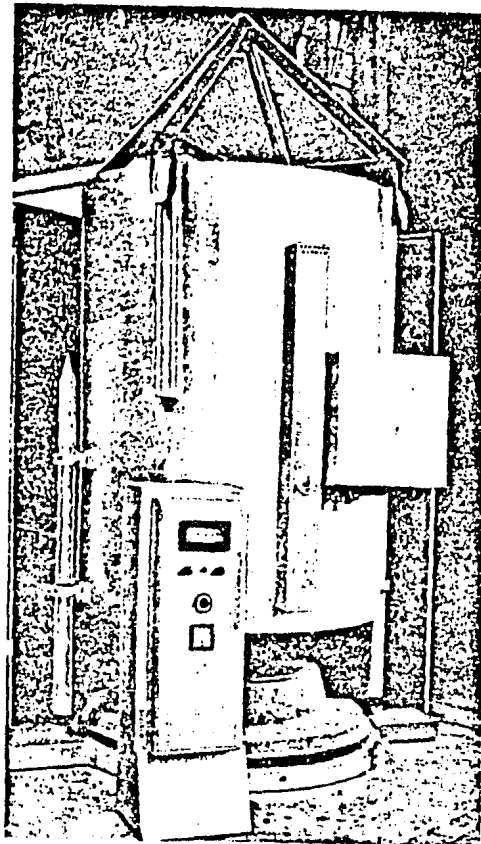
La capacidad de calentamiento de hornos equipados con muflas tubulares para llamas ( tubos radiantes) está limitada -- por el calor que pueden radiar los tubos por unidad de tiempo.

En los hornos de cuba el sistema de circulación está instalado en el fondo y son apropiados para la cementación con -- gas de piezas gruesas grandes. El transporte de las piezas --- al baño de temple se puede hacer con rapidez. Las piezas se su jetan igualmente a la tapa.

Para cementar con gas las piezas grandes son adecuados --- los hornos de campana, porque las piezas se colocan sobre la --



solera. Luego, se hace descender la campana para hacer el recinto estanco a los gases. No son posibles la extracción y el transporte tan rápidos al baño de temple como en los hornos de cuba. Además, entra mucho aire durante la carga, lo que obliga a expulsarlo insuflando el gas cementante. La figura ( 39 ) -- muestra un horno de campana, fabricado por Simplonwerk, en posición de abertura. La campana, está provista de calefacción eléctrica lateral y la solera es de acero moldeado refractario. La campana se levanta convenientemente con una grúa.

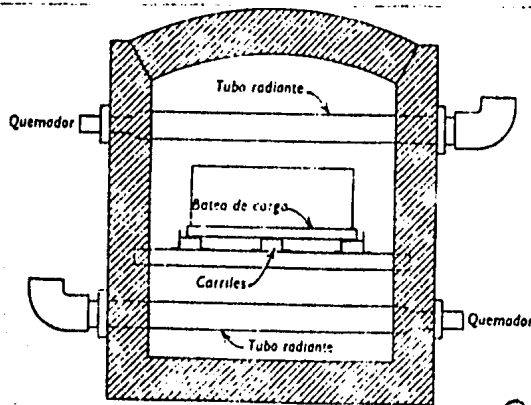


Horno de campana. (Simplonwerk.)

FIGURA ( 39 )

Muchas veces se emplean los hornos de cámara para la cementación con gas. Suelen estar equipados con una antecámara--estanca a los gases, que está en comunicación con la cámara del horno y el depósito de temple subyacente. La pieza a cementarse introduce primero en la antecámara, que se cierra, y se insufla gas de cementación. Cuando todo el aire se haya expulsado de la antecámara, se abre la puerta de comunicación con la cámara del horno y se introduce en ella la pieza. De nuevo se cierra la puerta y se realiza la cementación. A continuación, la pieza retorna a la antecámara y de ella pasa al depósito -- de temple. De éste último, la pieza en cuestión se lleva otra vez a la esclusa de gas, se abre la puerta exterior y se la extrae del horno. De este modo, la cementación y el temple -- se realizan en ausencia de aire. Las piezas en el horno deben transportarse automáticamente, pero a pesar de todo solo pueden emplearse para producciones pequeñas.

En los hornos de cementación, se envuelve el material -- que a de templarse superficialmente con polvo de cementar y-- se calienta en cubas o en una atmósfera cementante. El horno-- que aparece en la figura (40) ,

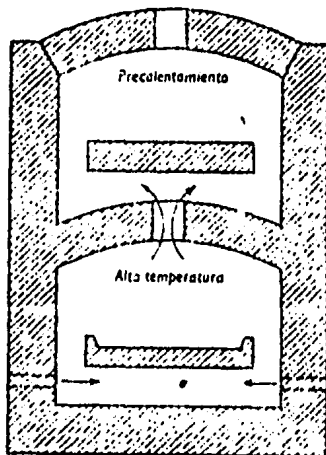


Horno de cementación gaseosa con tubos radiantes

FIGURA ( 40 )

está equipado con tubos radiantes y puede emplearse con ambos métodos de cementación. También se realiza la cementación en tambores rotativos que están llenos de un gas rico en carbono.

En los hornos de combustión del tipo de carga por lotes, y también en la mayoría de los hornos continuos, los productos de combustión salen a una temperatura elevada, llevando en sí mismos una gran cantidad de calor, que no puede ser utilizada directamente en el horno. Se recupera parte de este calor practicando el precalentamiento de las piezas frías o del aire de combustión. En la figura (41) aparece una disposición sencilla para el precalentamiento de las piezas frías.



Horno de herramientas con cámara superior de precalentamiento.

FIGURA ( 41 )

Las herramientas que han de calentarse para su temple se colocan en las zonas superiores y se transmiten finalmente a la zona inferior o solera. El precalentamiento del aire de combustión se alcanza por dos métodos claramente diferentes. En un---

método figura (42), los gases de combustión salientes transmiten una parte de su calor al aire que entra en un flujo uniforme a través de una pared.

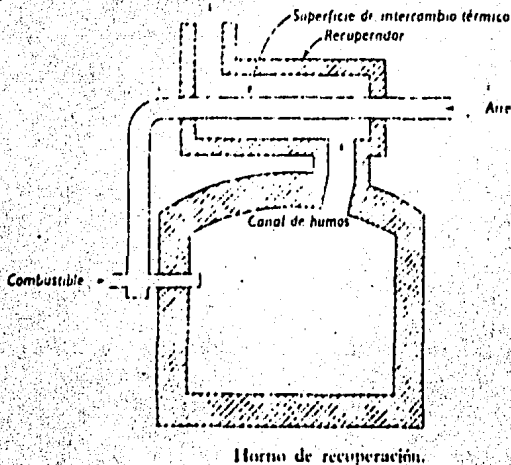
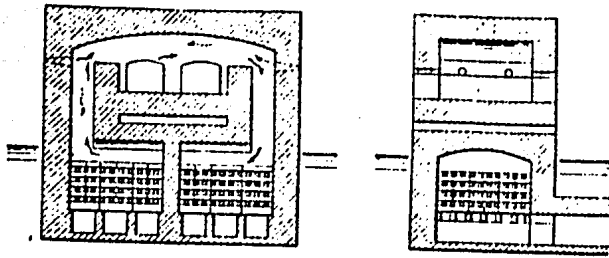


FIGURA ( 42 )

Este intercambiador de calor es llamado "recuperador" y se dice, con frecuencia, que el horno es del tipo de recuperación. En otro tipo, los productos de la combustión salientes imparten calor a los ladrillos o al metal colocados en una cámara de intercambio térmico, mientras que el aire entrante absorbe calor de los ladrillos o de las placas de otra cámara de intercambio, que ha sido calentada previamente por los gases de la combustión figura (43). Se invierte la dirección de la llama a intervalos regulares. Se dice que éste horno es del tipo regenerador, también se le llama horno Siemens.



Horno de regeneración.

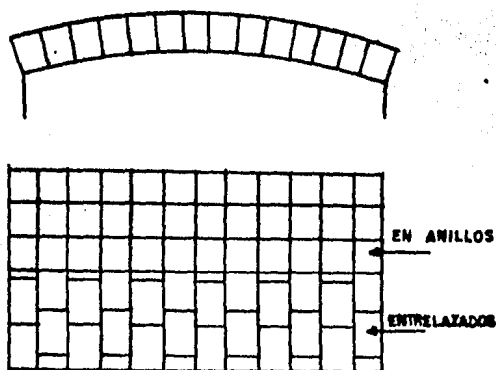
FIGURA ( 43 )

## VII. I.- ELEMENTOS DE LA CONSTRUCCION DE HORNOS

Los elementos con que se construyen los hornos son simples y bien conocidos. En la mayoría de los hornos, las piezas o carga que han de calentarse se apoyan sobre la solera. Para proteger las cimentaciones e impedir que la solera se ablande, se disponen espacios abiertos debajo de aquélla para la ventilación - por circulación de aire; se dice en este caso que la solera está ventilada. El combustible y el aire entran en el horno a través de orificios o quemadores. Los quemadores realizan la combustión en el bloque de mampostería de los mismos. Los productos de la combustión abandonan el horno a través de conductos de ventilación y ventanas, pasando a través de canales de humos y chimeneas. La cámara de calefacción está rodeada por las paredes laterales, que soportan la bóveda, la cual tiene por lo general, la forma de arco sostenido un apoyo sobre las paredes laterales o sobre una estructura exterior de acero. El pie-

del apoyo se denomina manchón. Los apoyos forman la imposta - o arranque del arco y el punto más elevado de éste se denomina coronación o clave; la distancia entre la coronación y la cuerda que une los apoyos, o impostas, se denomina flecha del arco.

El empuje ejercido por el arco se recoge por los enlaces, que consisten en vigas de atirantar verticales ( construidas de hierro fundido o acero moldeado, carriles u otro materia de estructuras) y tirantes, que mantienen sujetas las vigas verticales. Generalmente, la bóveda está arqueada en una sola dirección. Si el arco está curvado en dos direcciones, se denomina arco con forma de caparazón de tortuga. Se disponen los arcos "en anillos" o enlazados. Cuando se disponen en anillos, el arco consiste en un cierto número de capas independientes; cuando están enlazados, los ladrillos de una hilera se introducen en las adyacentes. La figura ( 44) señala la diferencia.



METODOS DE COLOCACION DE LOS LADRILLOS EN LAS BOVEDAS

FIGURA ( 44 )

El material empleado más corrientemente en la construcción de hornos es el ladrillo refractario, que se fabrica con arcilla refractaria. Los ladrillos refractarios se clasifican en ladrillos refractarios para grandes temperaturas (temperaturas de fusión inferior, mayor que  $1744^{\circ}\text{C}$ ), ladrillos medianamente refractarios (temperatura de fusión mayor que  $1615^{\circ}\text{C}$ ) y ladrillos ligeramente refractarios. Estos últimos contienen minerales que bajan su punto de fusión. La mayor parte de la obra de fábrica se construye con ladrillo normalizado, que antiguamente tenía las dimensiones ( y en algunos casos aún tiene) de  $63,5\text{ mm}$  ( $2\frac{1}{2}$  ") X  $114,3\text{ mm}$  ( $4\frac{1}{2}$  ") X  $228,6\text{ milímetros}$  (9"). Actualmente es más popular que se dispone, actualmente, de ladrillos de formas muy diversas en dos series que se denominan ladrillos de  $2\frac{1}{2}$ " ( $63,5\text{ mm}$ ) y ladrillos de 3" ( $76,2\text{ mm}$ ). En cada serie existen ladrillos con medio espesor que se denominan " cortados" y ladrillos con la mitad del ancho llamados "jabones". Para evitar un trabajo excesivo en el corte de los ladrillos, se construyen los hornos con una multiplicidad de dimensiones de ladrillos. Todos los fabricantes de ladrillos producen, por lo general ladrillos de arco, ladrillos de cuña, ladrillos de montante de puerta y ladrillos de forma diversa, incluyen en sus catálogos las dimensiones y los precios. Las listas de precios están al alcance de todo el mundo y se pueden obtener fácilmente. Las formas especiales se realizan bajo pedido. Son más costosas que las formas normales que aparecen en los catálogos. Para reducir las pérdidas de calor se construyen frecuentemente los hornos con ladrillo refractario aislante ( llamado también ladrillo ligero) o se recubren también con material aislante, que es un material refractario finamente dividido, Los ladrillos ligeros sirven también, actualmente, como -

aislante para colocar detrás del ladrillo denso. Raramente se colocan los ladrillos en seco; generalmente se colocan con una capa delgada de mortero entre ellos. Se protegen, ocasionalmente, de la temperatura y atmósfera del horno por un lavado, que se realiza por cepillado o por pulverizado ( chorro) con una pistola.

Otros materiales para paredes y techos de hornos son arcilla refractaria plástica retacada de mezcla sobre un armazón de hierro o acero resistente al calor ( compuesto refractario para moldear).



## C O N C L U S I O N E S

Dando paso a la culminación de este estudio, es preciso obtener conclusiones y algunas recomendaciones--- que se pueden extraer de lo que se presentó en los capítu--- los anteriores.

Ante las perspectivas de la cementación con carbón basada en la industrialización y en el impulso indi--- recto a la industria de transformación se ha procurado que--- el marco de las nuevas técnicas, se mantengan en el futuro--- y cristalice en resultados óptimos para la Industria Mecáni--- ca .

En la cementación sólida se concluye que no es muy recomendable debido al alto costo del combustible em--- pleado, ya que éste proceso se debe obtener a altas tempera--- turas para grandes volúmenes de cajas a cementar.

Una de las recomendaciones es que periódica--- mente se agreguen nuevas mezclas para que así se pueda tener una buena cementación o sea un espesor máximo en la capa.

La cementación con materias líquidas se reco--- miendan dado su procedimiento que es uno de los procesos más rápidos y sencillos, haciendo notar que éste proceso es em--- pleado exclusivo para piezas pequeñas. Por tanto su tiempo--- se reduce considerablemente.

La cementación gaseosa es una de las más --- aplicadas en la industria, debido a su gran velocidad de ---

calentamiento y desde luego su cementación es más perfecta, además da la oportunidad de conseguir resultados uniformes en la cementación y evita la formación de cementita.

En cuanto a los baños de sales, crisoles y hornos, se ha llegado a la conclusión de que se debe de tener un buen mantenimiento y vigilancia en todo el equipo empleado, para tratar de obtener su máximo rendimiento y la mayor eficiencia posible.

En el temple, se debe tener cuidado en introducir grandes cantidades de materia, ya que con esto se puede producir una caída de temperatura y esto implicaría un costo mayor.

Los hornos que se recomiendan son los de combustible por el bajo costo de fabricación en comparación al del horno eléctrico.

Para el caso de cementación se pueden recomendar diferentes tipos de hornos de acuerdo a las necesidades. Por ejemplo, se recomienda el horno continuo para pequeñas piezas y grandes cantidades por cementar; tratándose de piezas muy grandes es recomendable el horno de campana.

## B I B L I O G R A F I A

### I.- INGERIERIA METALURGICA

Raymond A. Higgings

Tomo I

Editorial Continental, S.A. México.

### II.-MATERIALES PARA INGENIERIA

Van Vlack

Editorial Continental, S.A. México.

### III.-TRATAMIENTOS TERMICOS DE LOS ACEROS

José Apraiz Barreiro

Editorial Dossat.

### IV.-HORNOS INDUSTRIALES

W.Trinks - M.H. Mawhinnev

Volumen I

Editorial Urmo, S.A. de Ediciones.

### V.-ACEROS DE CEMENTACION

Aceros de Llodio, S.A.

Editorial Urmo, S.A. de Ediciones.

### VI.-PRINCIPIOS DE TRATAMIENTOS TERMICOS

M. A. Grossman -E.C. Bain.

American Society for Metals, park.Ohio.

Editorial Blume

### VII.-TECNICA Y PRACTICA DEL TRATAMIENTO TERMICO DE LOS METALES - FERREOS.

J. Pascual

Editorial Blume

VIII.- TECNOLOGIA DE LOS MATERIALES INDUSTRIALES

Dr. Ing. Ma. Lasheras Esteban -Prof José Ma.Sánchez  
Marín Pizarro.

Ediciones Cedel

IX.- METALOGRAFIA Y TRATAMIENTO TERMICO DE LOS METALES

Yu. M. Lajtin

Editorial Mir Moscú

X.- TEMPLE DEL ACERO

Ing. Klaus Wanke - Ing. Klaus Schramm

Editorial Aguilar

XI.- NOTICIAS TECNICAS

Nuevos Adelantos en el tratamiento térmico de metales  
Sanderson, L.