

# Tratamiento superficial o endurecimiento superficial

## Observaciones

- ✓ En muchas aplicaciones donde se combinan una serie de requerimientos diferentes, es menester proporcionar al componente propiedades específicas en distintas áreas del mismo.
- ✓ Áreas superficiales endurecidas para evitar desgaste o soportar concentraciones de tensiones elevadas en partes de las piezas mientras se requiere alta tenacidad en el núcleo u otras zonas

# Tratamiento superficial o endurecimiento superficial

- ✓ No existe en la naturaleza ni en los procedimientos integrales comunes, materiales que atiendan estas exigencias, pero sí a través de prácticas de ingeniería es posible abordar estas solicitudes, por varios y diferentes tratamientos.
- ✓ Entre los tratamiento de superficie consideramos:
  - Tratamientos térmicos superficiales
  - Tratamientos termoquímicos
  - Deposición de metales sobre superficie

# Tratamiento superficial o endurecimiento superficial

## ✓ Tratamientos térmicos superficiales

Se considera a aquellos tratamientos aplicados exclusivamente a las áreas superficiales, que reciben aporte de calor y enfriamiento rápido, provocando un cambio microestructural, con variaciones de las propiedades mecánicas y sin modificación de la composición química

- Flameado o temple a la llama
- Temple por inducción

# Tratamiento superficial o endurecimiento superficial

## ✓ Tratamientos termoquímicos

Se considera a aquellos tratamientos a los cuales se somete a las piezas, con incorporación de algún elemento químico que modifica su composición superficial y se realiza a temperaturas específicas.

El tratamiento que alcanza una pequeña profundidad de la pieza toma su denominación en función del elemento químico incorporado

# Tratamiento superficial o endurecimiento superficial

Entre los elementos incorporados podemos citar:

- Carbono – Tratamiento de Cementación
- Nitrógeno – Tratamiento de Nitruración
- Nitrógeno y Carbono – Tratamiento de Cianuración
- Silicio – Tratamiento de Siliciuración
- Azufre – Tratamiento de Sulfinización
- Boro – Tratamiento de Borado
- Otros

# Tratamiento superficial o endurecimiento superficial

## ✓ Metalizado

Se considera a toda aplicación que aporte una capa de metal que se adhiere a la superficie de la pieza

- Por galvanoplastia
- Por soldadura en sus más variadas formas
- Por metalurgia de polvos fundidos

# Tratamiento superficial o endurecimiento superficial

- Metalizado por galvanoplastia

En una celda electrolítica se coloca la pieza como cátodo y el aporte metálico como ánodo

- Zin - cincado
- Cromo Cr – cromo duro – Cromado
- Cadmio Cd – Cadmiado

# Tratamiento superficial o endurecimiento superficial

- ✓ Por deformación plástica

Un caso especial lo constituyen los aceros al manganeso que adquieren alta dureza por deformación plástica. Esto permite para muchos casos formar una superficie endurecida a medida que se va desgastando el material durante el trabajo y mantener en todo instante el núcleo tenaz

# **Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial**

## ***Definición***

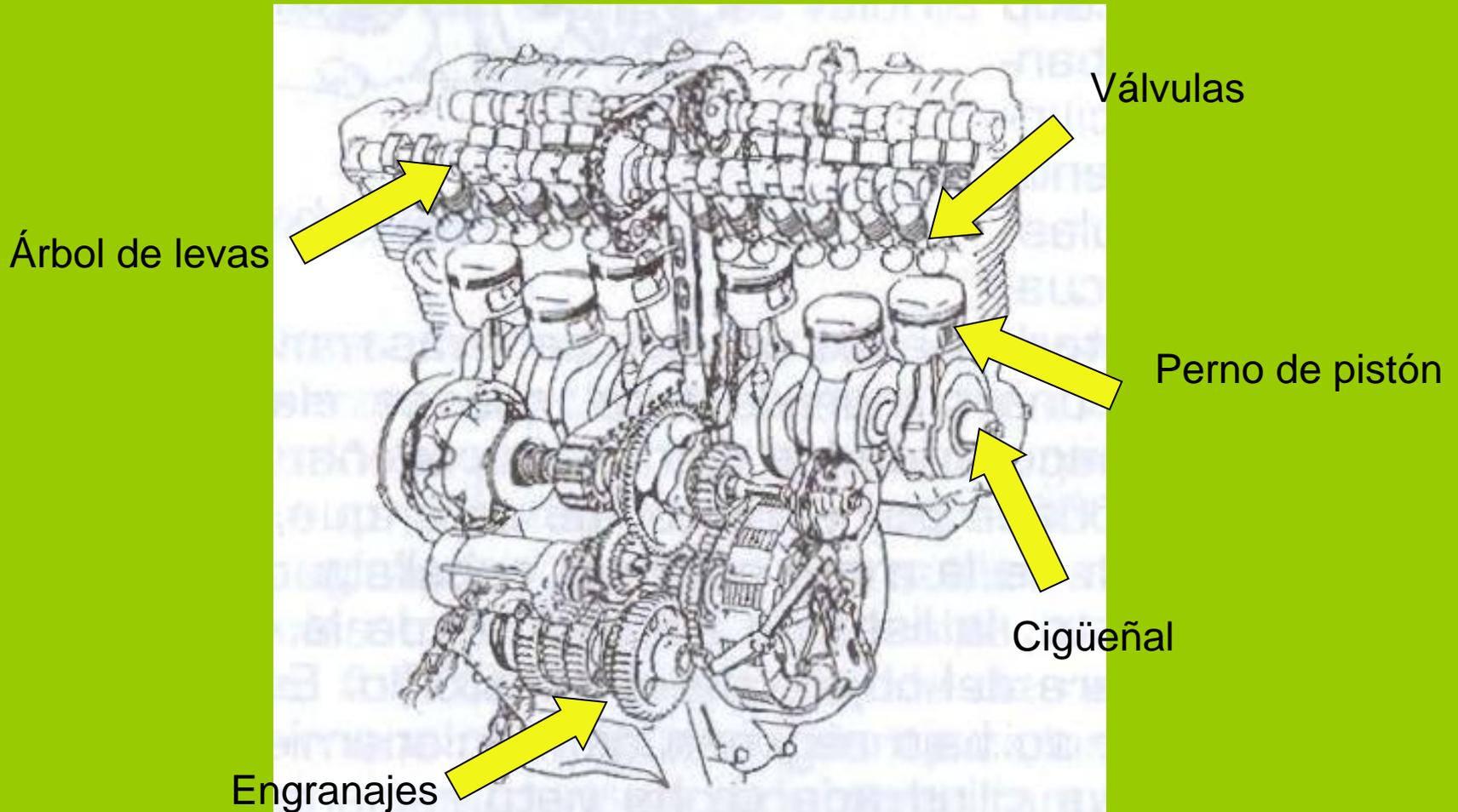
**Estos tratamientos consisten en modificar la composición química de la superficie, la microestructura, o la deposición superficial de metales o aleaciones especiales, modificando las propiedades mecánicas de la superficie**

## ***Objetivo***

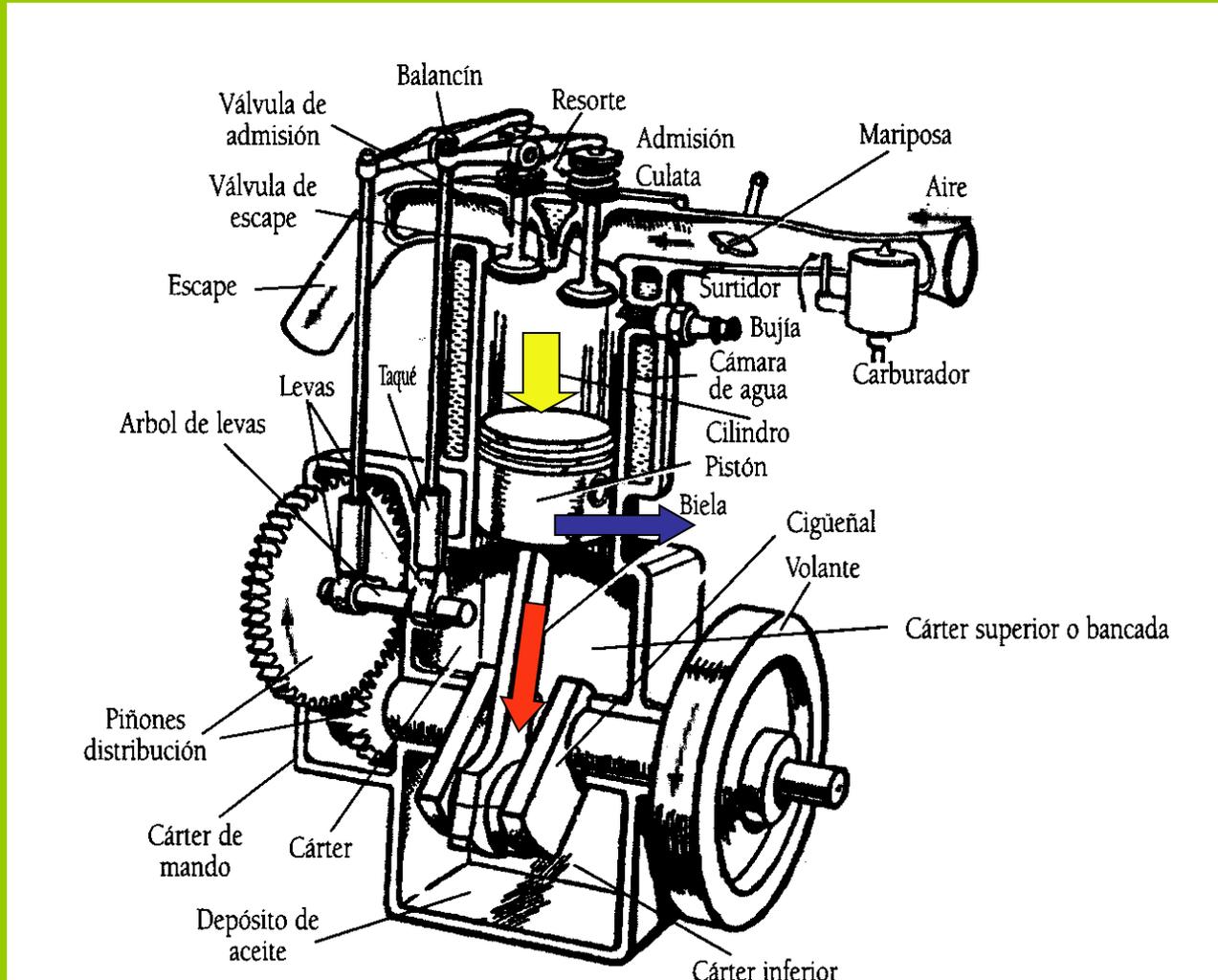
**En muchas aplicaciones es necesario contar con un material que posea una superficie dura, resistente al desgaste y a su vez un núcleo o parte interior blando y tenaz, capaz de absorber impactos o simplemente se trata de fibras descargadas con respecto a los esfuerzos**

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

## Ejemplos

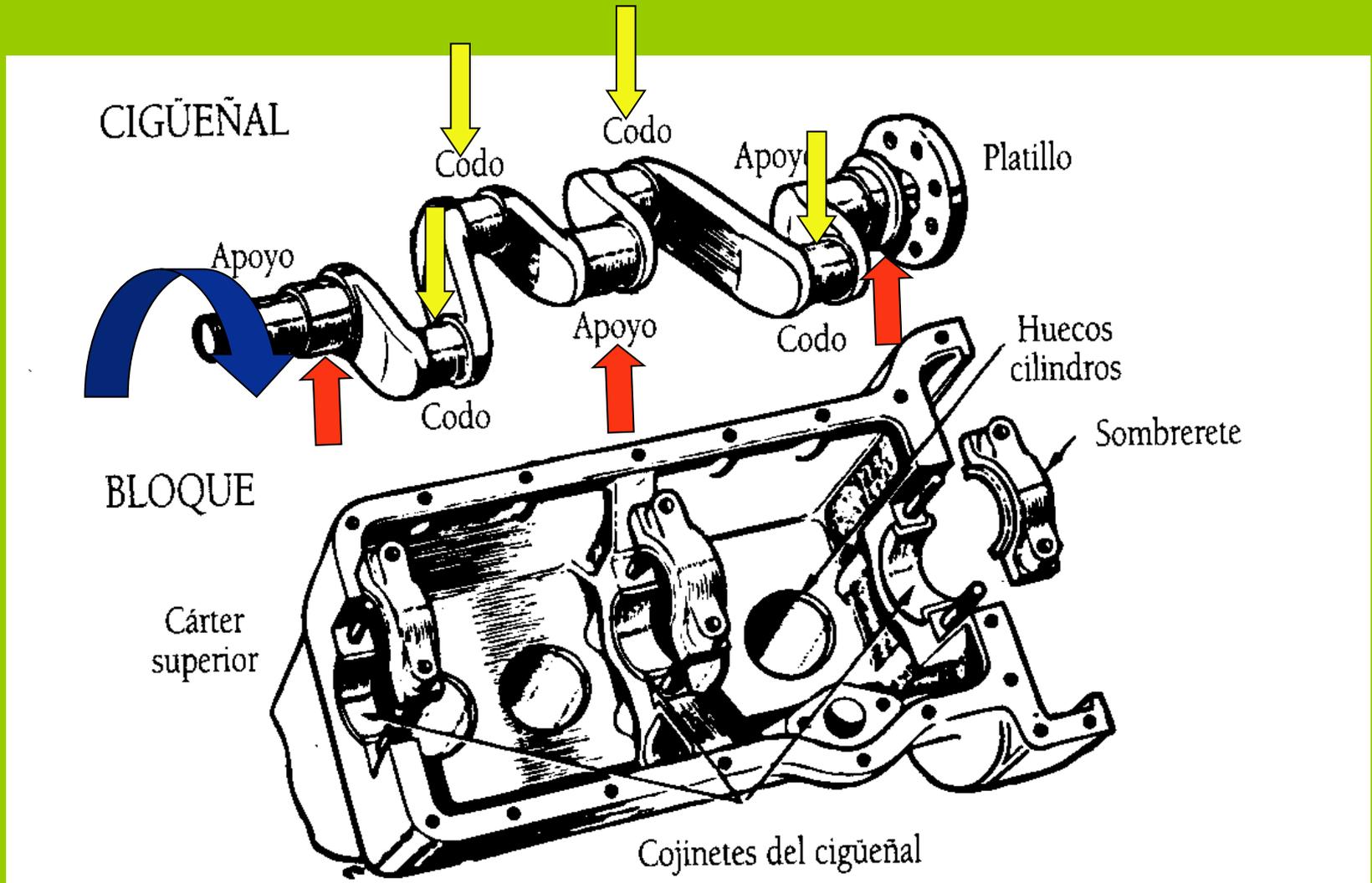


# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

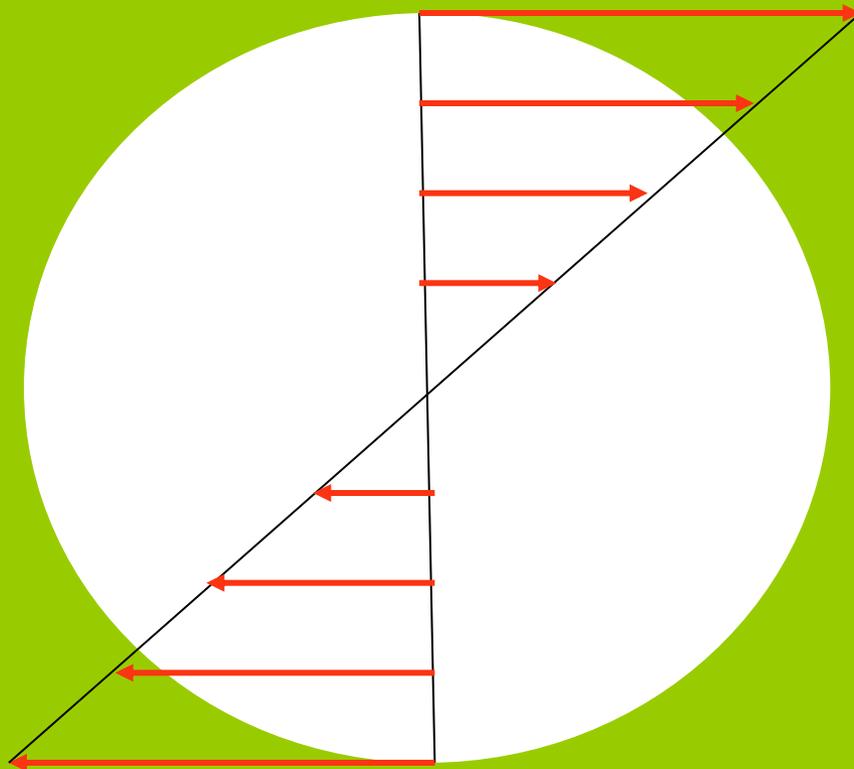


Esfuerzos derivados de la explosión

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

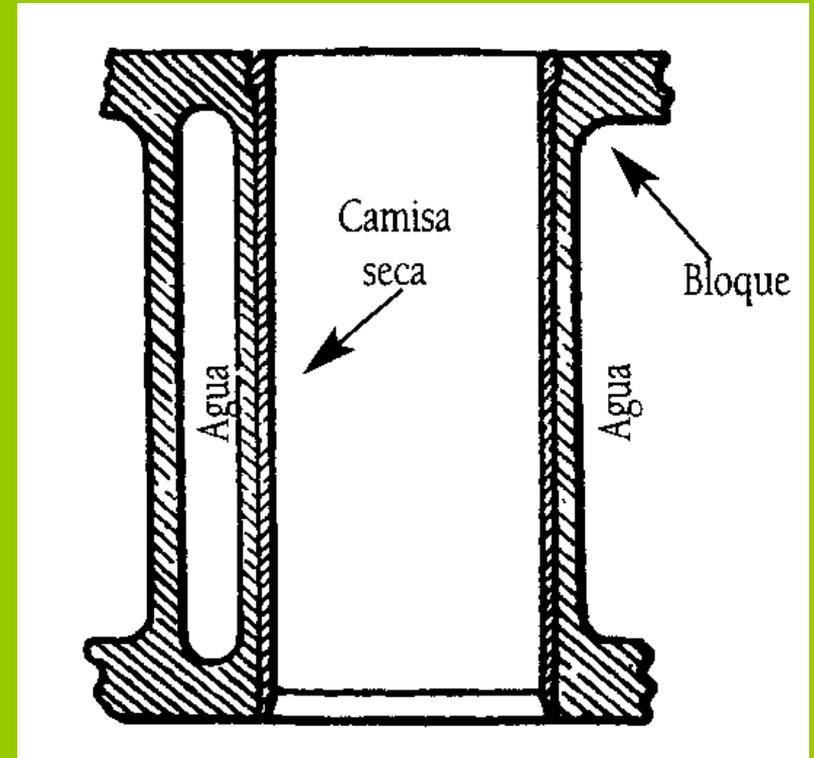
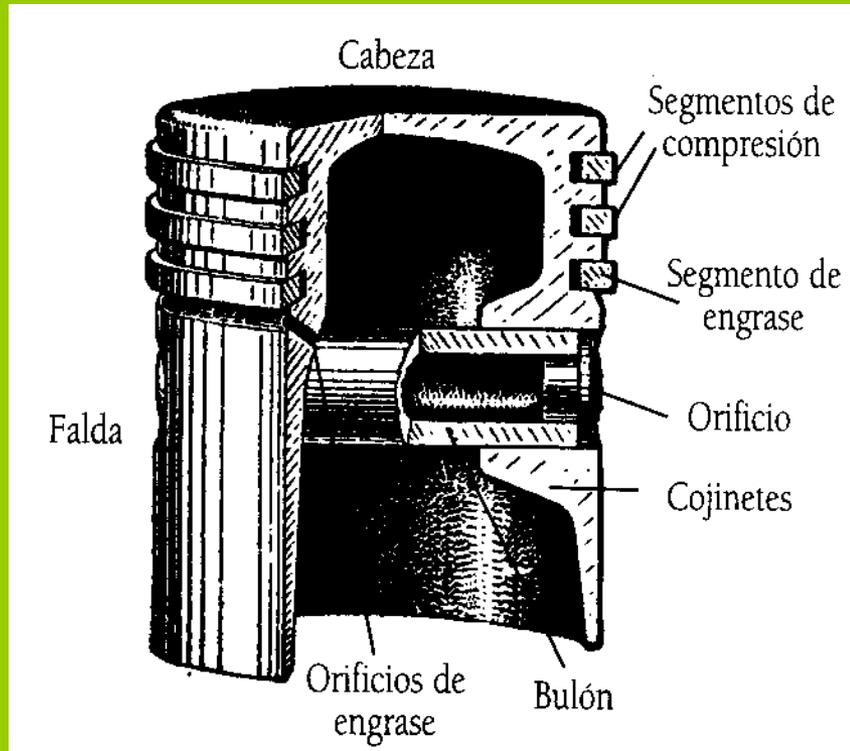


# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial



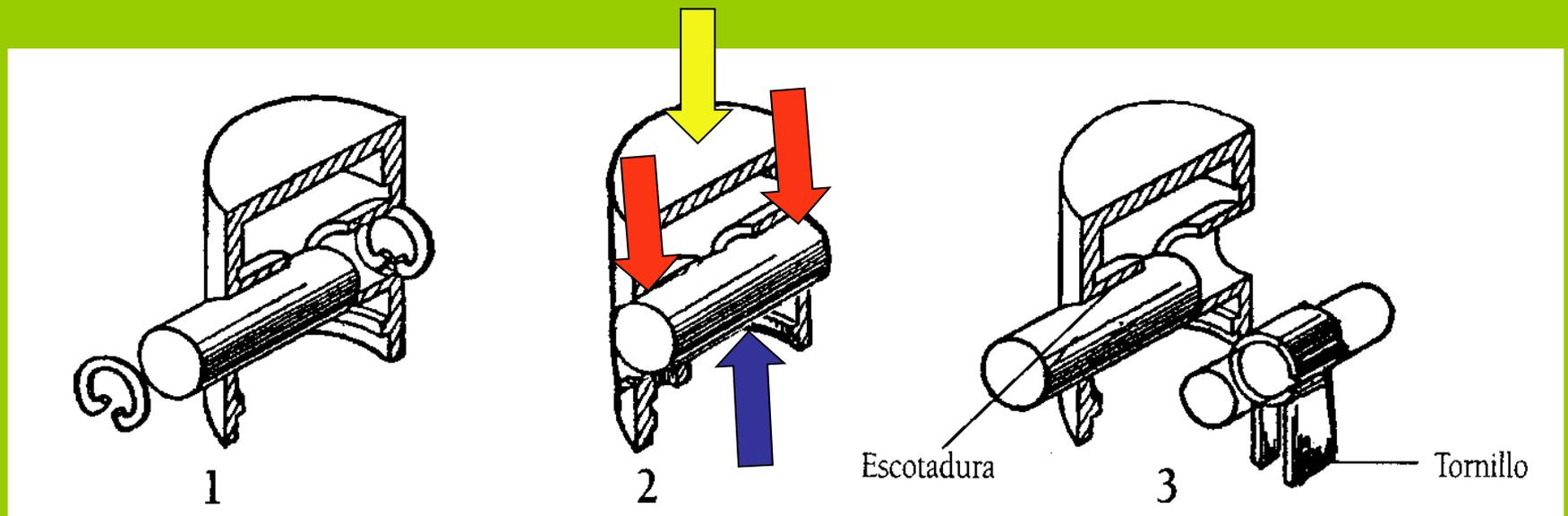
Distribución de esfuerzos de torsión en un eje

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial



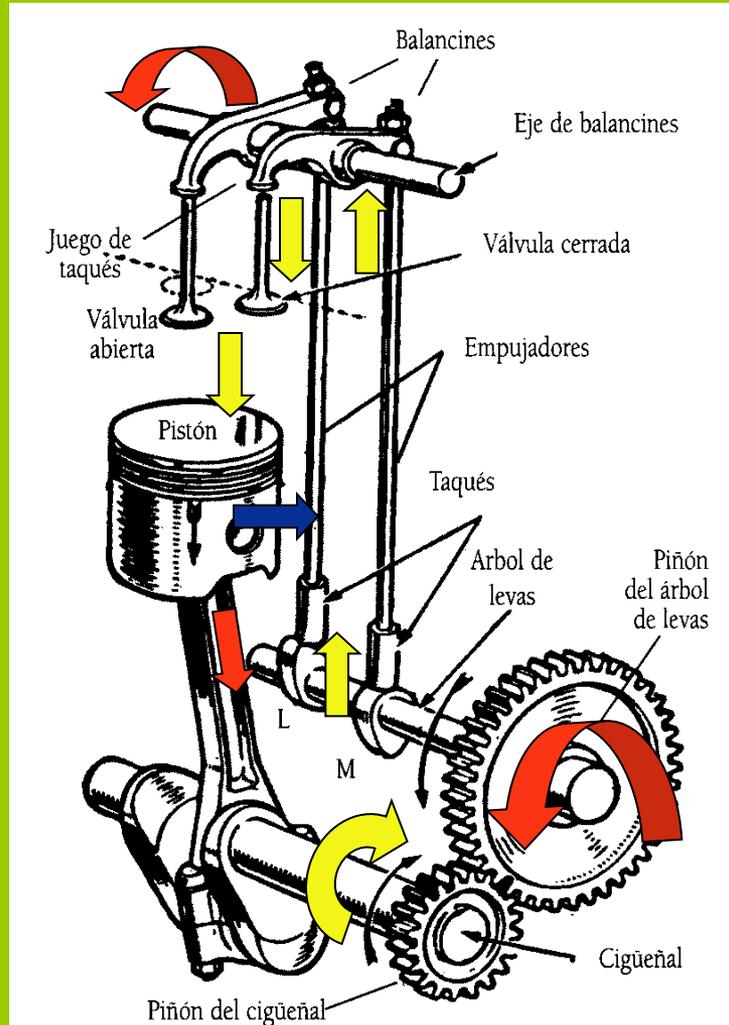
Efecto del rozamiento entre los aros de acero y la camisa de fundición

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial



Esfuerzos que se producen en el perno por efecto de la explosión y la transmisión a la biela

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial



Esfuerzos en el sistema de distribución

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

## *Tipos de tratamientos*

- Tratamientos termoquímicos**
- Tratamientos térmicos superficiales**
- Metalizados**

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

## *Tratamientos termoquímicos*

- ❑ Se denominan tratamientos termoquímicos a aquellos tratamientos que modifican la composición química de la superficie y que pueden o no tener un tratamiento térmico posterior complementario
- ❑ El tratamiento termoquímico recibe el nombre en función del elemento químico que ingresa al material modificando su composición

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

## *Tipos de tratamientos termoquímicos*

- ❑ Cementación. Incorporación de carbono
- ❑ Nitruración. Incorporación de nitrógeno
- ❑ Cianuración. Incorporación de carbono y nitrógeno
- ❑ Sulfinizado. Incorporación de azufre
- ❑ Siliciuración. Incorporación de silicio
- ❑ Borado. Incorporación de boro

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

## *Tratamientos térmicos superficiales*

- ❑ Se denominan tratamientos térmicos superficiales a aquellos tratamientos que mediante ciclos de calentamiento y enfriamiento provocan un cambio microestructural (transformación martensítica) exclusivamente en la superficie del material
- ❑ Para lograrlo hay que calentar exclusivamente las fibras externas del material hasta la fase austenítica y enfriarlas a una velocidad superior a la crítica

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

## *Tipos de tratamientos térmicos superficiales*

- ❑ Temple a la llama oxiacetilénica
- ❑ Temple por inducción

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

## Tipos de recubrimientos metálicos

- ❑ Depositiones metálicas por método de galvanoplastia. Ej. cromo duro
- ❑ Depositiones metálicas por soldadura. Ej. Arco eléctrico, arco sumergido, Mig.Mag. Etc.
- ❑ Depositiones metálicas por metalurgia de polvo

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

## Cementación

### Fundamento

- ❑ Consiste en exponer un acero de bajo contenido de carbono (inferior a 0,25 %), en una atmósfera rica en carbono atómico y a una temperatura adecuada en el campo austenítico, a efecto de la absorción y difusión del mismo hacia el interior de la pieza

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

## Factores que influyen en el tratamiento

- ❑ Tipo de acero
- ❑ Característica de la atmósfera cementante
- ❑ Temperatura de tratamiento
- ❑ Tiempo de tratamiento

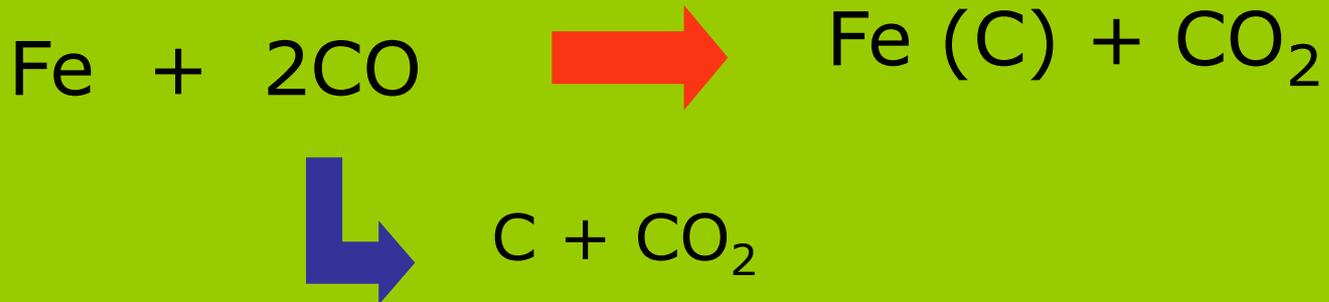
# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

## Procedimiento

- ❑ Elección de aceros al carbono o aleados según resistencia requerida con un contenido de carbono inferior a 0,25%
- ❑ Elección de una temperatura de tratamiento entre 900 y 930 °C
- ❑ Generación de una atmósfera rica en monóxido de carbono capaz de producir carbono atómico

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

## Proceso químico



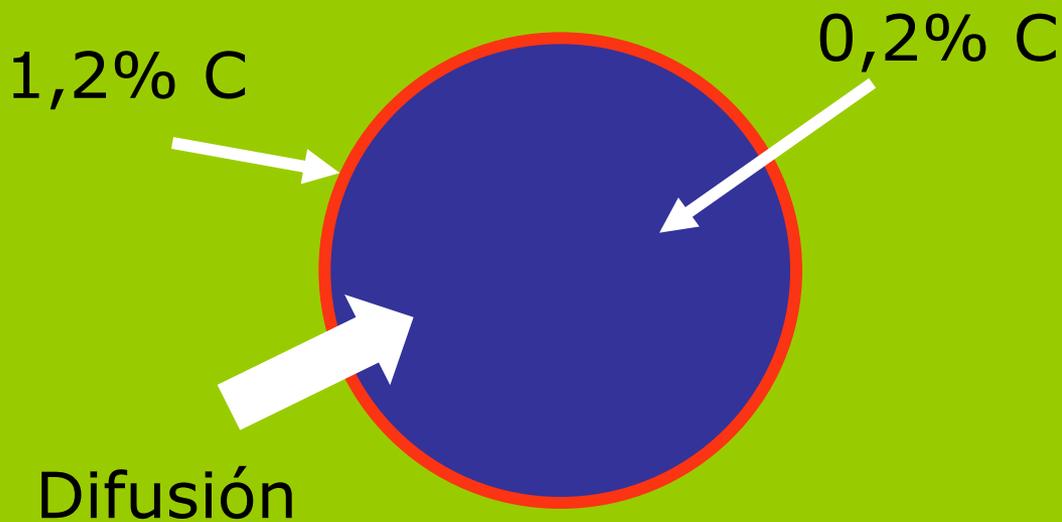
Fe (C) – expresa el carbono disuelto ( en solución) en la austenita

La máxima solubilidad de carbono está dado por la línea  $A_{cm}$  a esa temperatura de tratamiento

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

## Fenómeno de difusión del carbono

Al cabo de cierto tiempo el carbono de la atmósfera ingresa a la pieza y la satura llegando a 1,2 % de C



# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

## Velocidad de difusión depende:

Temperatura del proceso

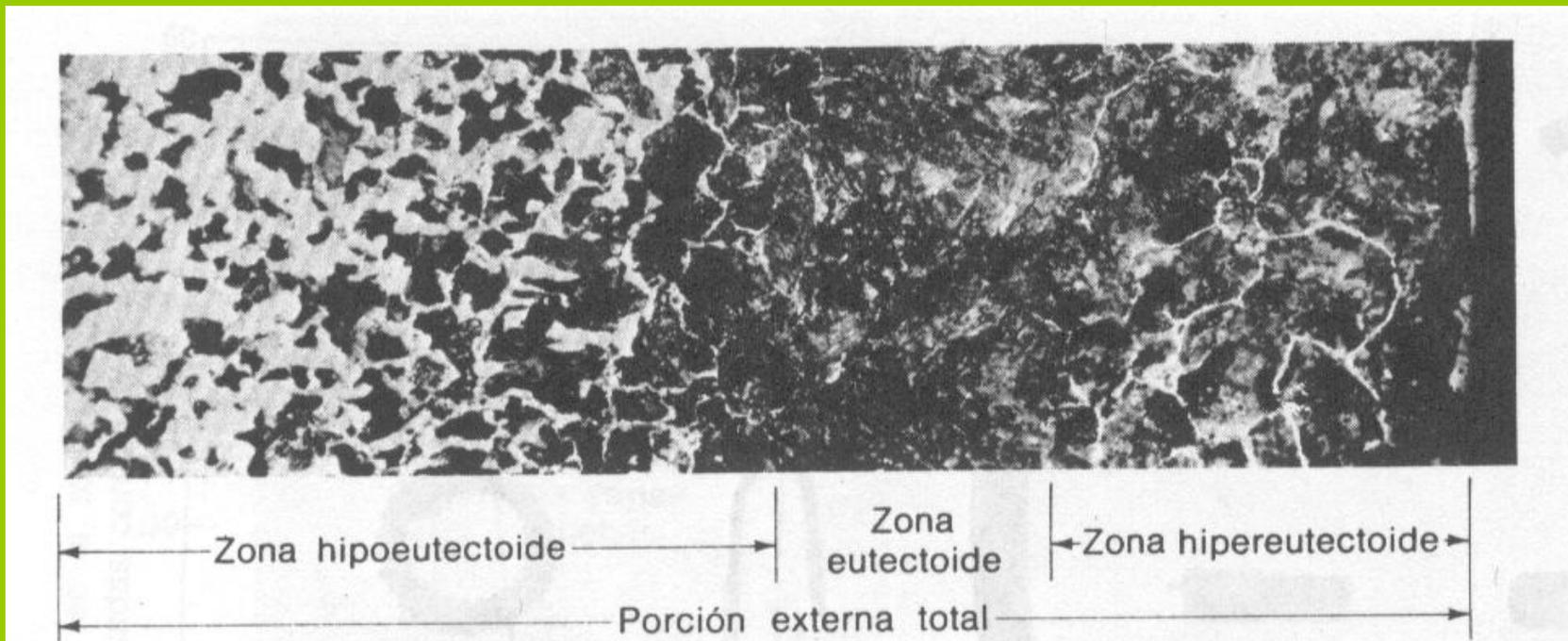
Coeficiente de difusión

Gradiente de concentración de carbono

En condiciones de operación estándar y conocidas, con la superficie a una concentración fija de carbono, se puede predecir la forma del gradiente de carbono, como una función del tiempo transcurrido

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

## Gradiente de la capa cementada



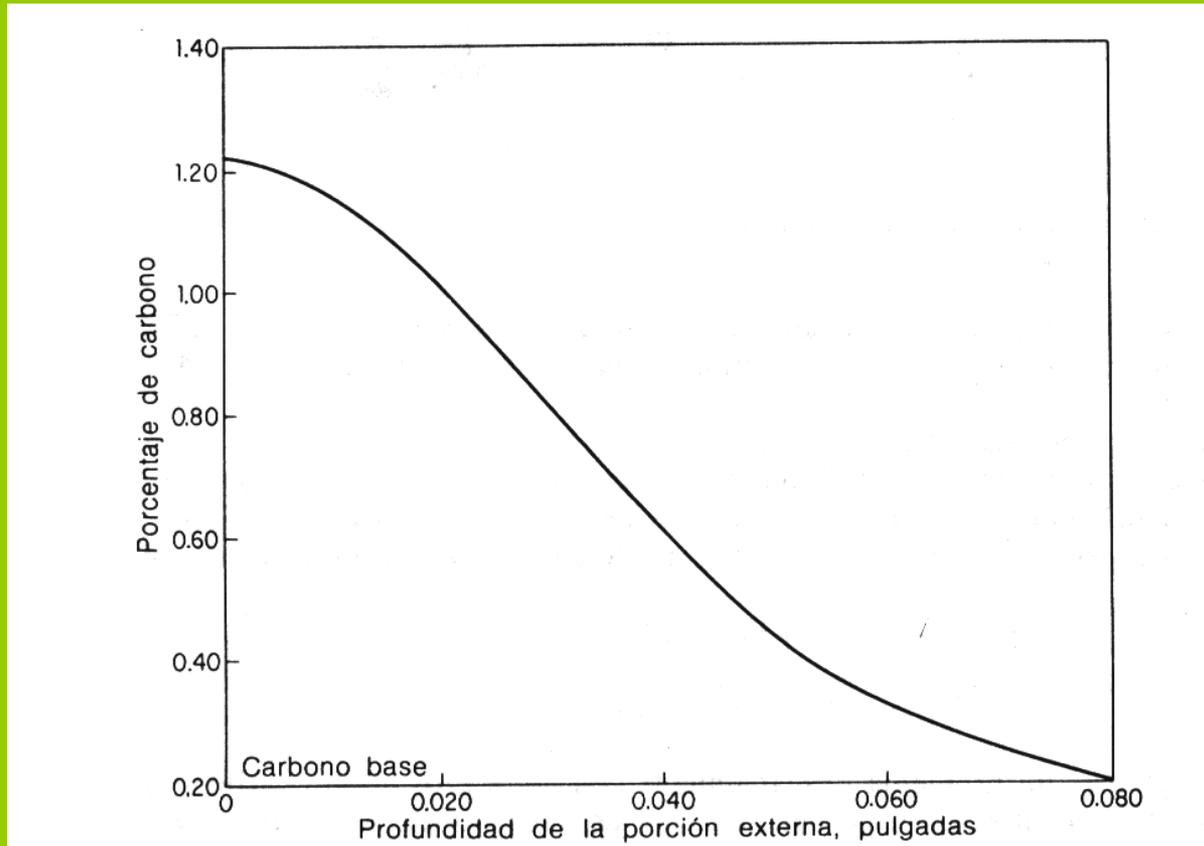
Sección metalográfica de una capa cementada enfriada en el horno

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

Procedimiento para la determinación del gradiente de carbono

- Realizar la cementación y enfriar en horno apagado la probeta a examinar
- Mecanizar al torno, retirando muestras para ser analizadas cada 0,005 pulg.
- Realizar análisis químico de las muestras
- Representar gráficamente los valores obtenidos en función de la profundidad

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial



Gradiente de concentración de carbono en función de la profundidad de la capa cementada

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

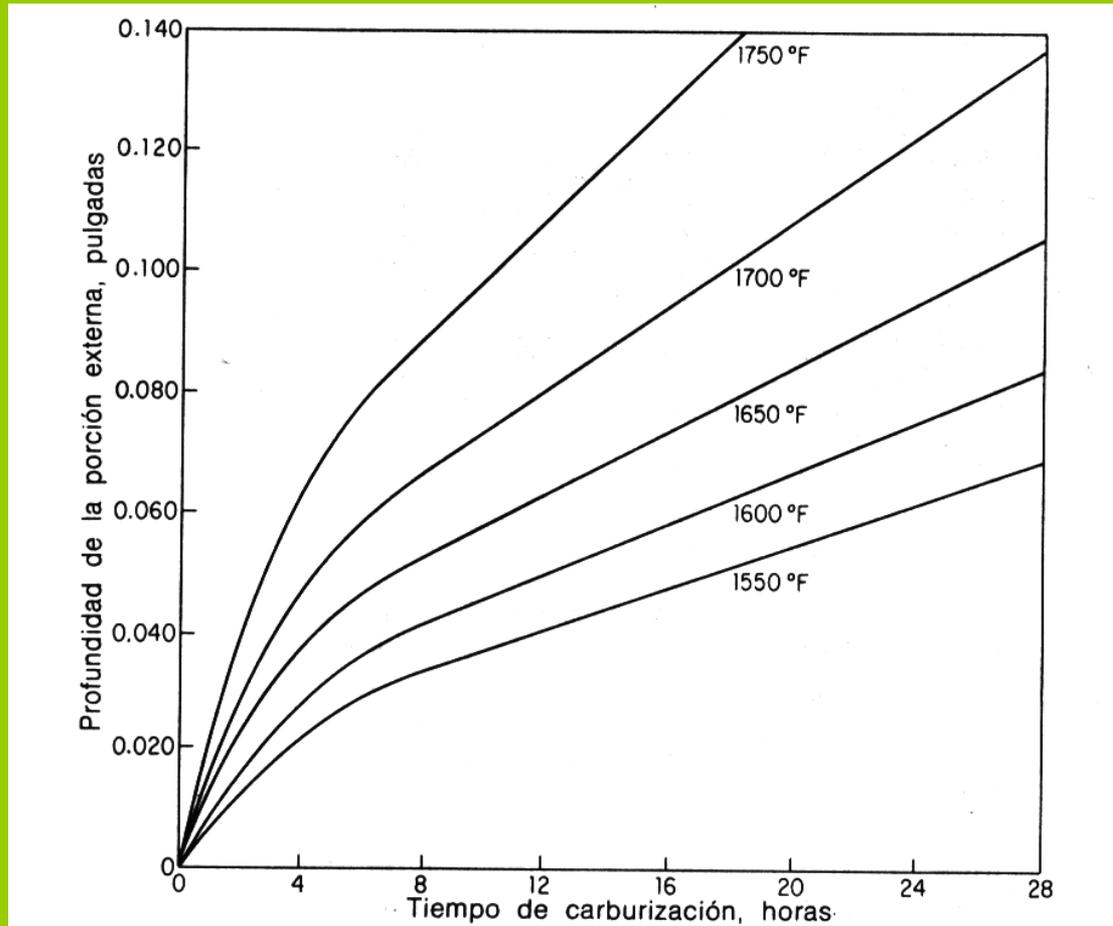
Influencia de la temperatura y el tiempo de tratamiento sobre la profundidad de la capa cementada

TIEMPO, <i>H</i>	TEMPERATURA, °F					
	1500	1550	1600	1650	1700	1750
1	0.012	0.015	0.018	0.021	0.025	0.029
2	0.017	0.021	0.025	0.030	0.035	0.041
3	0.021	0.025	0.031	0.037	0.043	0.051
4	0.024	0.029	0.035	0.042	0.050	0.059
5	0.027	0.033	0.040	0.047	0.056	0.066
6	0.030	0.036	0.043	0.052	0.061	0.072
7	0.032	0.039	0.047	0.056	0.066	0.078
8	0.034	0.041	0.050	0.060	0.071	0.083
9	0.036	0.044	0.053	0.063	0.075	0.088
10	0.038	0.046	0.056	0.067	0.079	0.093
11	0.040	0.048	0.059	0.070	0.083	0.097
12	0.042	0.051	0.061	0.073	0.087	0.102
13	0.043	0.053	0.064	0.076	0.090	0.106
14	0.045	0.055	0.066	0.079	0.094	0.110
15	0.047	0.057	0.068	0.082	0.097	0.114
16	0.048	0.059	0.071	0.084	0.100	0.117
17	0.050	0.060	0.073	0.087	0.103	0.121
18	0.051	0.062	0.075	0.090	0.106	0.125
19	0.053	0.064	0.077	0.092	0.109	0.128
20	0.054	0.066	0.079	0.094	0.112	0.131
21	0.055	0.067	0.081	0.097	0.114	0.134
22	0.056	0.069	0.083	0.099	0.117	0.138
23	0.058	0.070	0.085	0.101	0.120	0.141
24	0.059	0.072	0.086	0.103	0.122	0.144

**P  
R  
O  
F  
U  
N  
D  
I  
D  
A  
D**

<b>Temp.</b>	<b>815</b>	<b>842</b>	<b>871</b>	<b>904</b>	<b>926</b>	<b>953</b>
--------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial



Influencia de la temperatura y el tiempo de tratamiento sobre la profundidad de la capa cementada

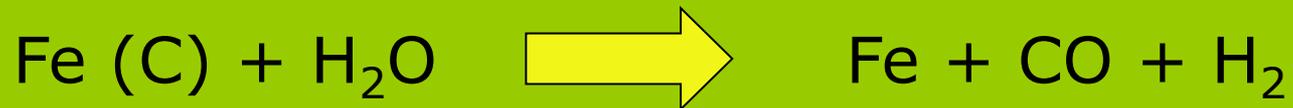
# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

## Decarburación

- ❑ Se denomina decarburación a la pérdida de carbono que experimentan los aceros y fundiciones a altas temperaturas
- ❑ La pérdida de carbono en la superficie de las aleaciones ferrosas se debe al contacto del metal a altas temperaturas, con agentes químicos presentes en el horno que reaccionan con el carbono del mismo, modificando la microestructura superficial

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

## Agentes decarburizantes

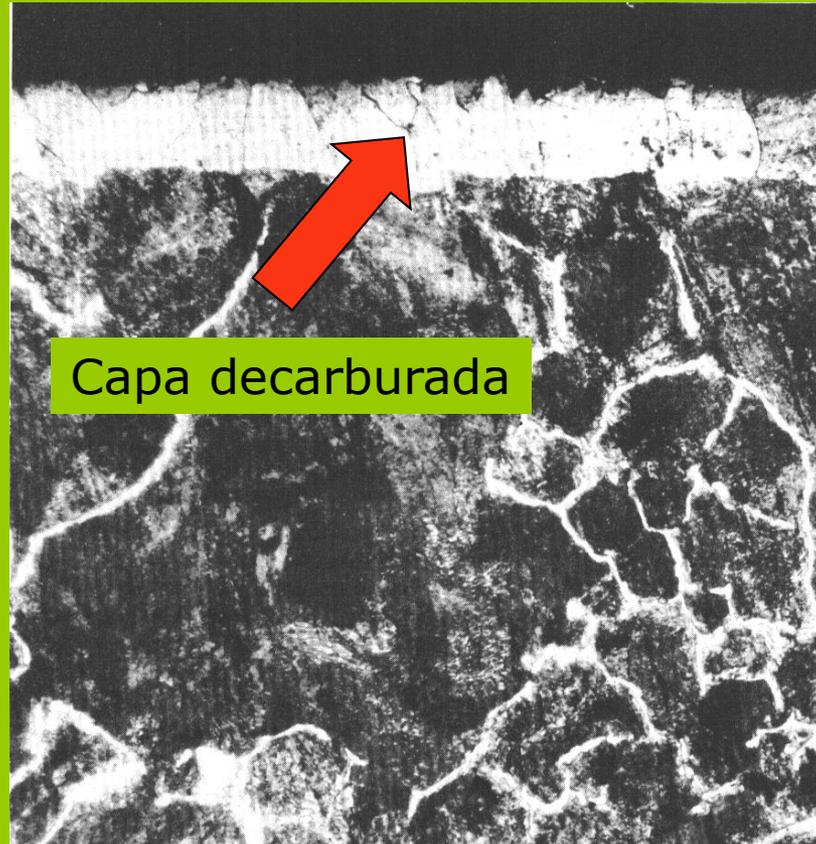


# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

## Consecuencias

- ❑ Entre los más sensibles están los aceros altos en carbono que al templarse no sufrirán transformación martensítica o no alcanzarán la dureza esperada
- ❑ Igual suerte sufrirán los aceros de herramientas que al templarlos no alcanzarán las durezas necesarias y no soportarán los esfuerzos que son máximos en superficie

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial



**Metalografía de un acero alto en carbono que sufrió una decarburación superficial**

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

## Formas de evitar la decarburación

- Usar hornos al vacío en los tratamientos
- Usar hornos de calentamiento de sales fundidas
- Proceder a la quema de un hidrocarburo en hornos de mufla generando una atmósfera neutra
- Proteger las piezas a calentar, con limaduras de hierro

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

## Tipos de cementación

- ❑ Cementación sólida o en caja
- ❑ Cementación líquida o en baños de sales fundidas
- ❑ Cementación gaseosa

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

## Cementación sólida

- ❑ Consiste en colocar las piezas a ser cementadas en una caja metálica, rodeadas de una mezcla cementante granulada especialmente preparada
- ❑ La caja acondicionada se calienta en un horno a la temperatura de cementación durante un tiempo que varía entre 6 y 10 horas para luego enfriarse con lentitud
- ❑ Luego de limpiarse hay que proceder a su temple calentando nuevamente la pieza y enfriándola a una velocidad superior a la crítica

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

## Proceso

- ❑ La cementación de una pieza consta de dos etapas
  - ✓ Absorción de carbono durante el proceso de cementación
  - ✓ Mejoramiento de las características mecánicas por medio de tratamientos térmicos adecuados, generalmente temple y revenido

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

- ❑ **Factores que inciden en la absorción de carbono**
  - ✓ Composición del acero
  - ✓ Naturaleza de la mezcla cementante
  - ✓ Temperatura de cementación
  - ✓ Tiempo de cementación

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

## □ Composición de la mezcla cementante

- ✓ Carbón vegetal de madera dura
- ✓ Coque como diluyente
- ✓ Carbonato de bario como activador

La mezcla se prepara en trozos o partículas granuladas a los efectos de que quede suficiente aire atrapado para poder formar monóxido de carbono dentro de la caja al calentarse

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

## □ Tipos de aceros de cementación

- ✓ Aceros al carbono entre 0,08 y 0,25% de carbono
- ✓ Raramente aceros hasta 0,4 % de carbono
- ✓ Aceros aleados generalmente con Cr y Ni cuando se requieren propiedades mecánicas especiales en el núcleo

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

## Ventajas de la cementación sólida

- No requiere una atmósfera preparada
- Es un proceso eficiente y económico para pequeñas partidas o piezas grandes
- Se logran buenos espesores de capa

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

## Desventajas de la cementación sólida

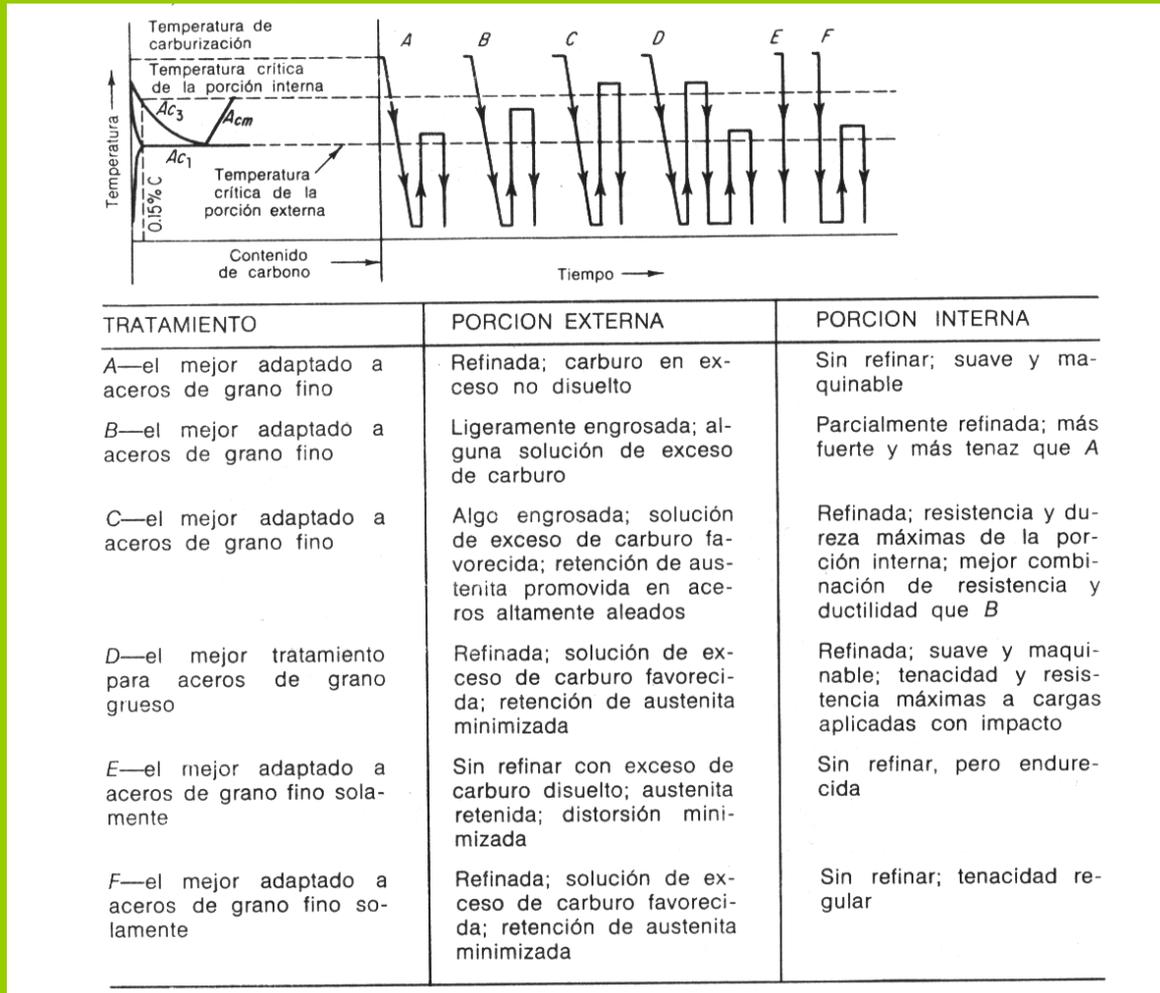
- Se requieren cajas de material refractario, de alta inversión inicial
- Duración elevada del proceso
- No se pueden tratar térmicamente a continuación de la cementación
- Elevado costo de preparación, desarme y manipuleo
- Falta de uniformidad de la temperatura en el interior de la caja
- Elevado consumo de combustible

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

## Tratamiento térmico del acero cementado

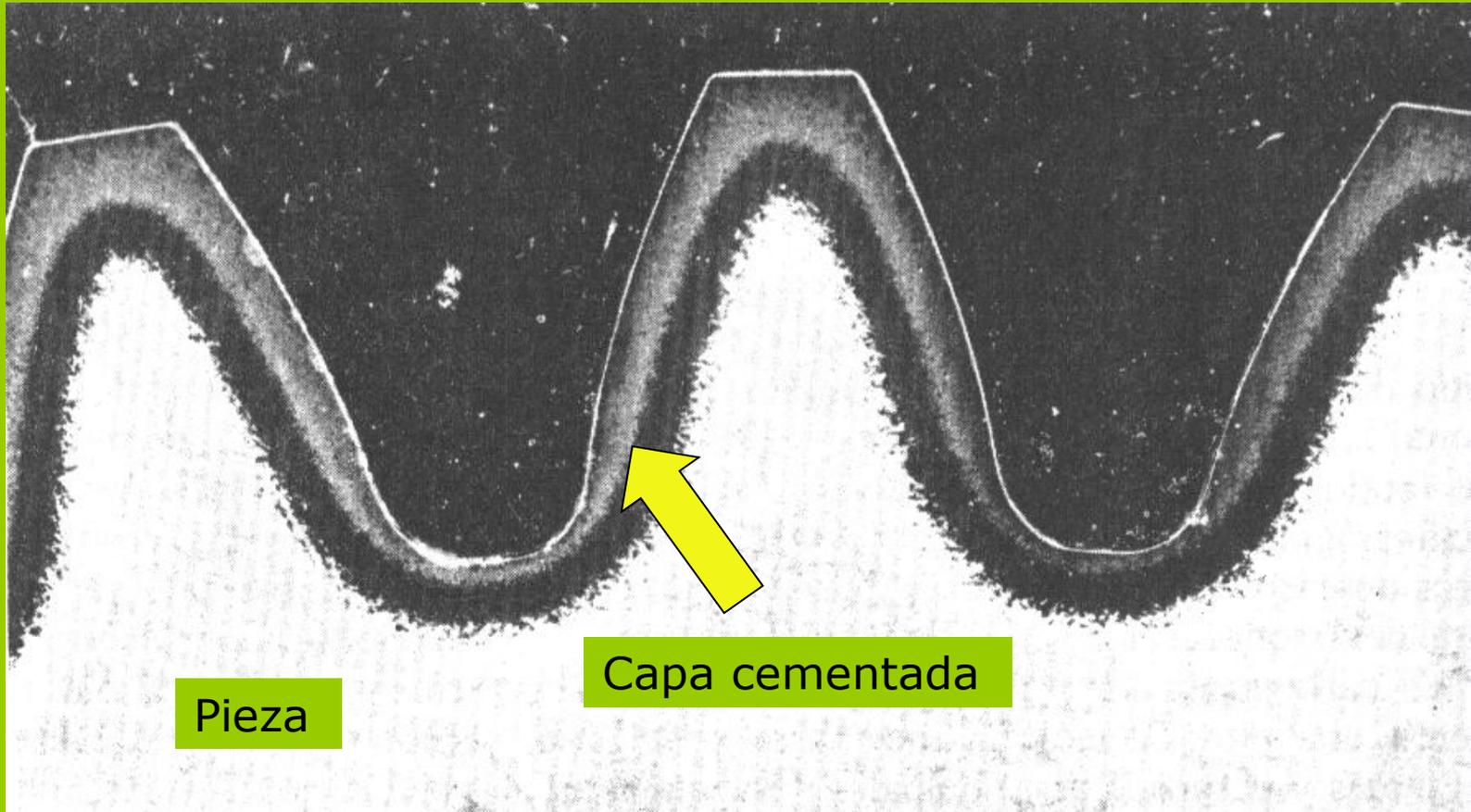
- ❑ La temperatura de temple - tratamiento térmico posterior a la cementación, es una solución de compromiso, dado que se trata de dos tipos distintos de aceros
- ❑ Además la temperatura de cementación debe ser la mayor posible en el campo austenítico para obtener la máxima solubilidad de carbono, pero al mismo tiempo la de temple debe ser la menor posible para evitar el crecimiento del tamaño de grano austenítico y evitar austenita retenida en aceros de alto carbono

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial



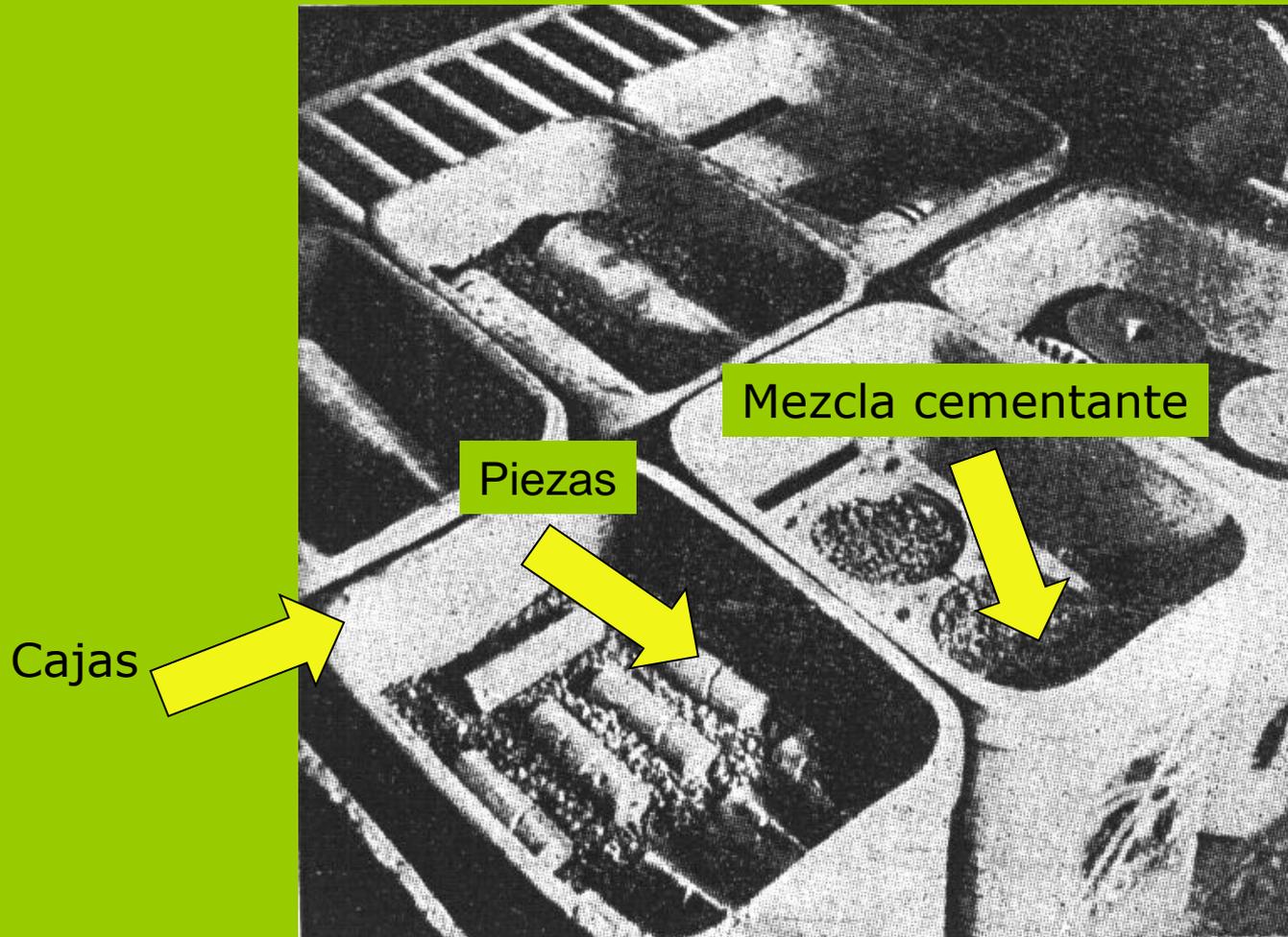
**Ciclo de cementación y tratamiento térmico posterior**

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial



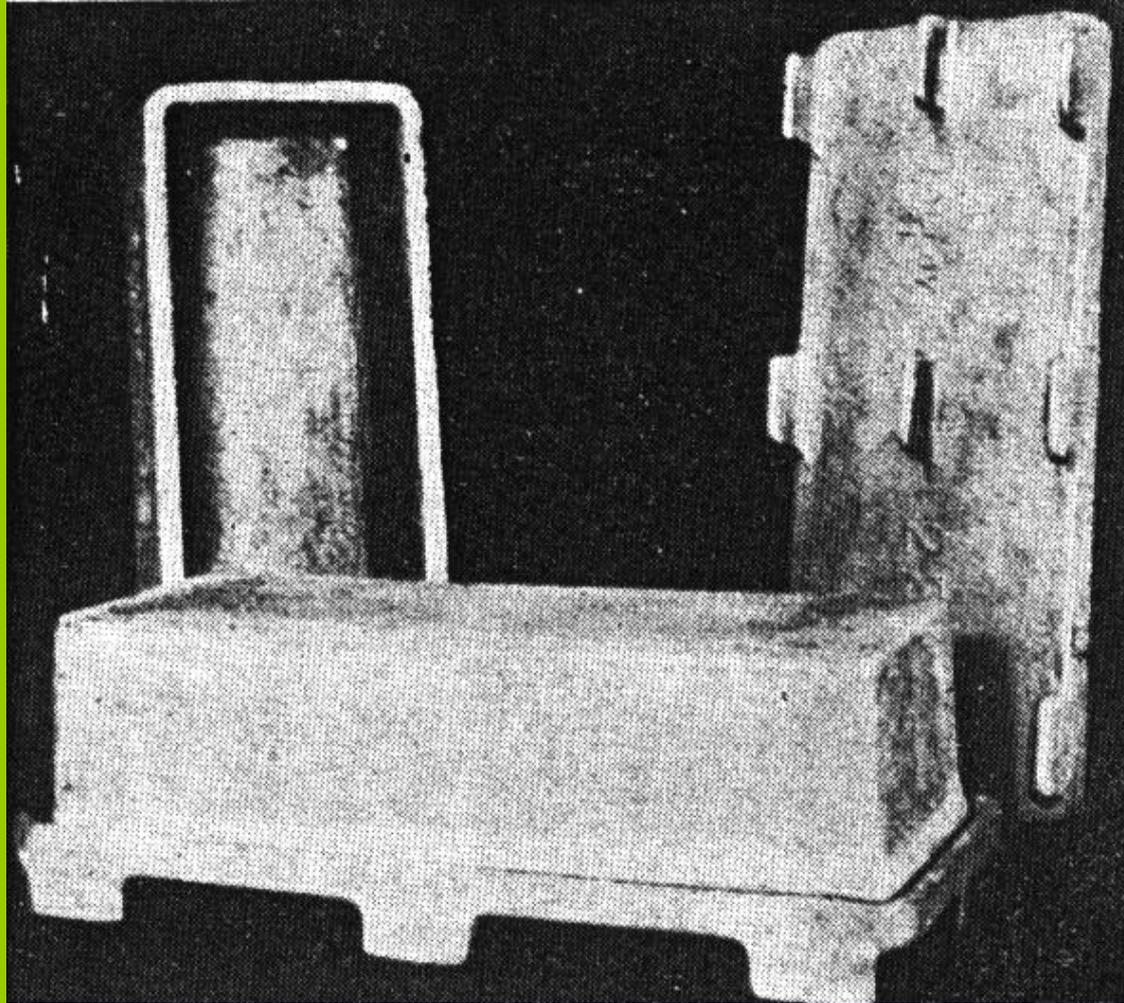
Macrografía de un engranaje cementado y templado

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial



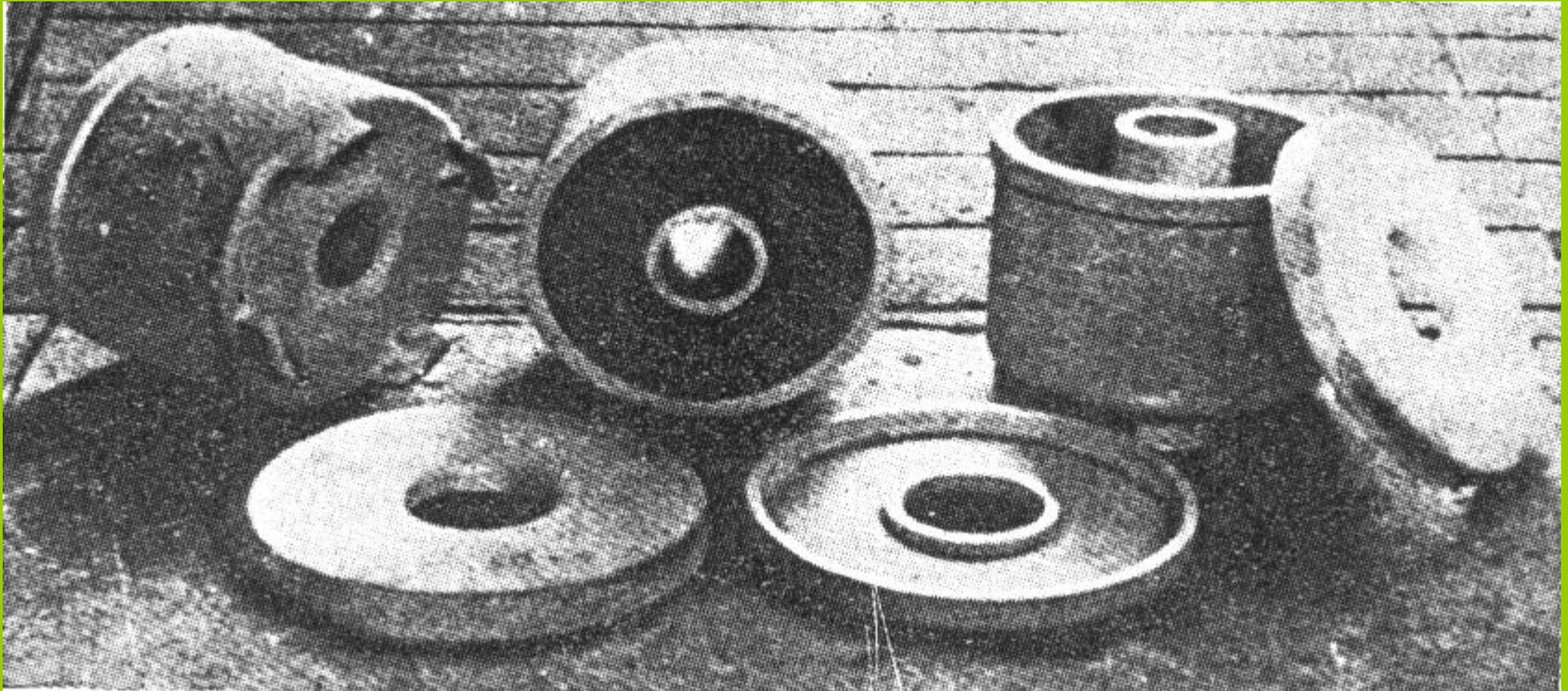
Acondicionamiento de piezas para cementar en cajas

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial



Cajas refractarias 25% de Cr y 20% de Ni

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial



## Cajas para cementar engranajes

El orificio central como las patas se realizan para conseguir una mejor distribución del calor

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

## □ Mecanismo de cementación

- ✓ Para producir el fenómeno de absorción de carbono por parte del acero se requiere de un gradiente de carbono entre la pieza y el medio, sumado a la disponibilidad de carbono atómico en la superficie del ejemplar
- ✓ Esto se consigue con un acero adecuado en fase austenítica y una atmósfera o medio circundante que disponga de carbono atómico

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

- ✓ En la cementación sólida la mezcla constituida por carbón vegetal y coque proporcionan el agente para lograr monóxido de carbono, sustancia que proveerá el carbono atómico necesario para la difusión
- ✓ La sola presencia de estos componentes en la mezcla cementante asegura una concentración no mayor de 0,65% de carbono
- ✓ Para alcanzar una buena cementación se necesita 1,2% de carbono, para lo cual se debe adicionar un catalizador, generalmente carburo de bario

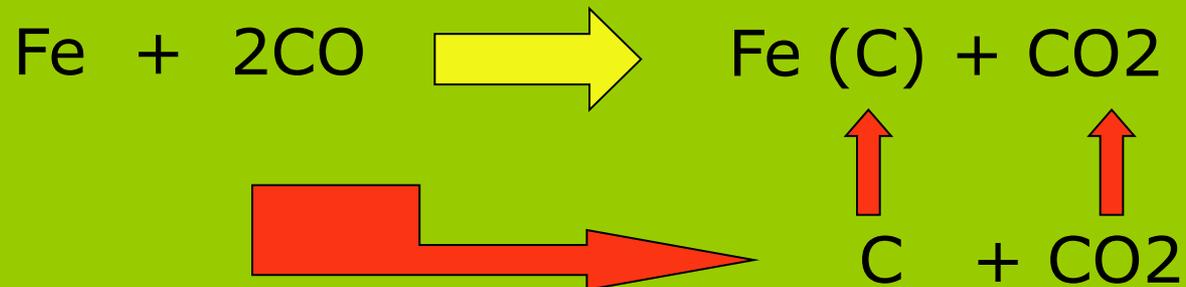
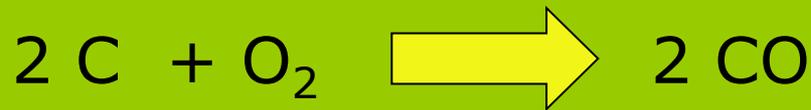
# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

## Etapas del proceso

- ✓ Producción de carbono nascente en la superficie del acero
- ✓ Absorción del carbono en la zona periférica
- ✓ Difusión del carbono hacia el interior

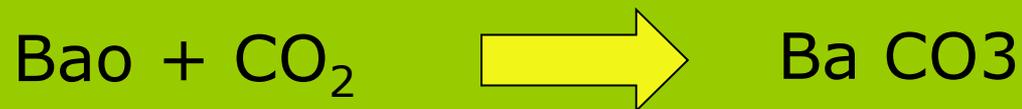
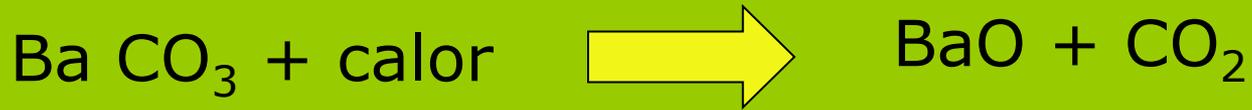
# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

- ✓ Para generar monóxido de carbono hace falta además de carbono, oxígeno del aire que se almacena entre los granos del cementante en la caja



# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

Efecto del activador



# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

Cementación líquida

Sales fundidas

Electrodos

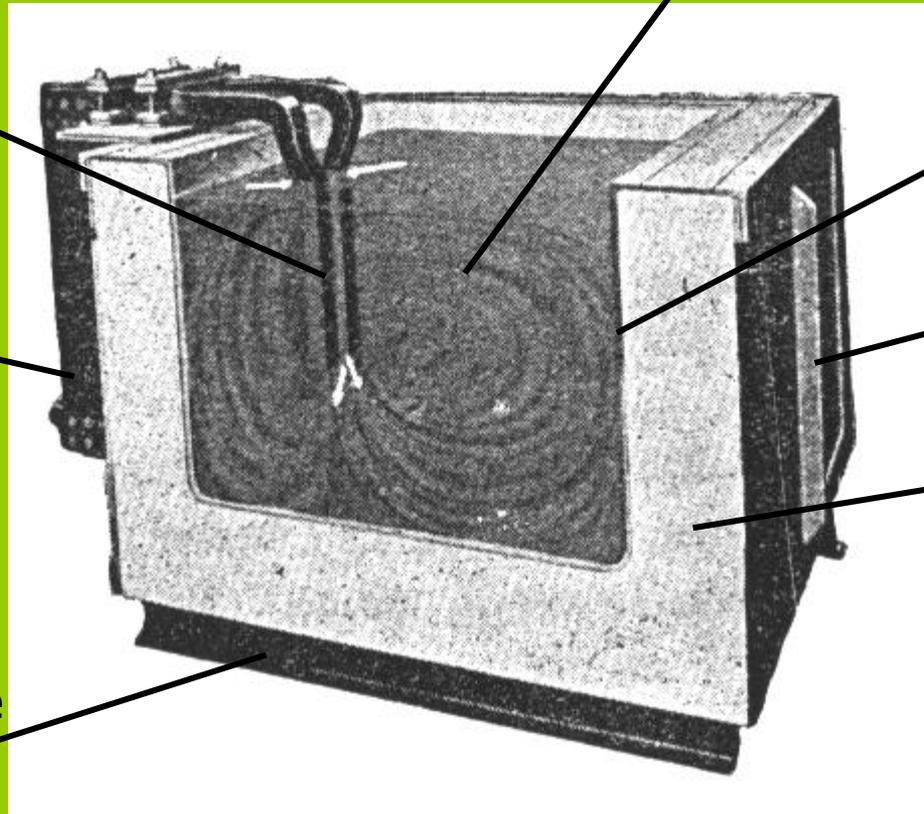
Crisol metálico

Sistema eléctrico

Medidor de temperatura

Aislación térmica

Estructura soporte



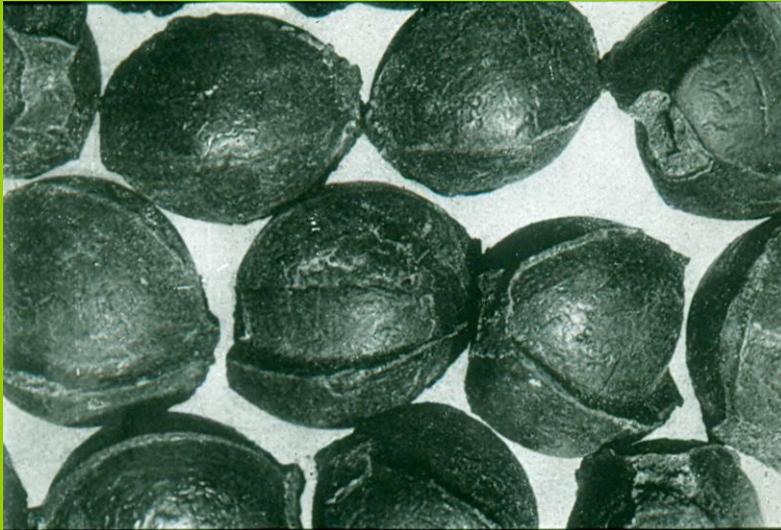
# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

- Ventajas de la cementación salina
  - ✓ Mayor rapidez y menor costo operativo
  - ✓ Proceso más sencillo con menor cantidad de mano de obra
  - ✓ Se puede automatizar
  - ✓ Se trabaja en serie con tratamiento térmico posterior a la cementación

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

- ❑ Desventajas de la cementación salina
  - ✓ En general se obtienen pequeños espesores
  - ✓ Uso de sales venenosas a base de cianuro
  - ✓ Se requieren instalaciones de ventilación y tratamiento de gases adecuadas
  - ✓ Es necesario tratar las aguas residuales del enfriamiento y eliminación de sales

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial



Sales para la preparación del baño



Productos envasados

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial



Fractura de un perno

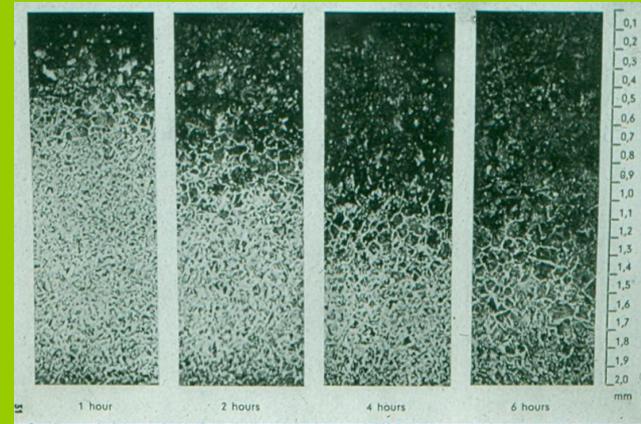
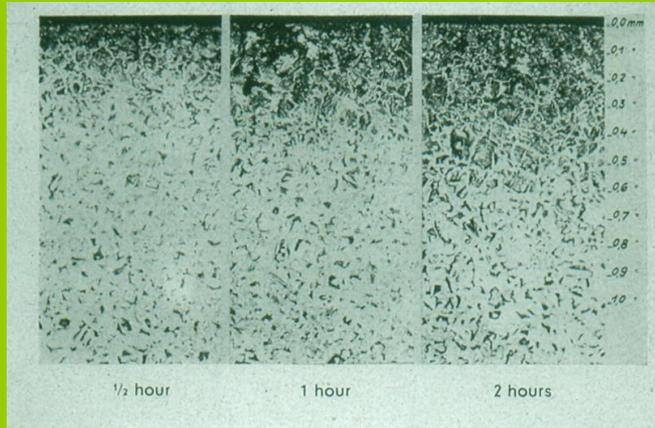


Fractura para control de avance de cementación



Macrografía

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial



Avance del espesor de capa en función del tiempo

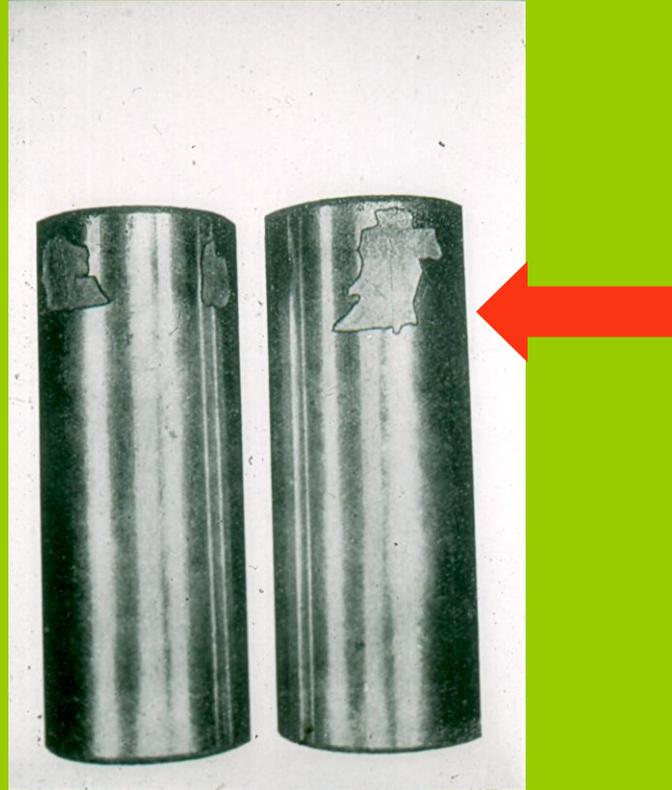


Medición espesor de capa



Medida de dureza

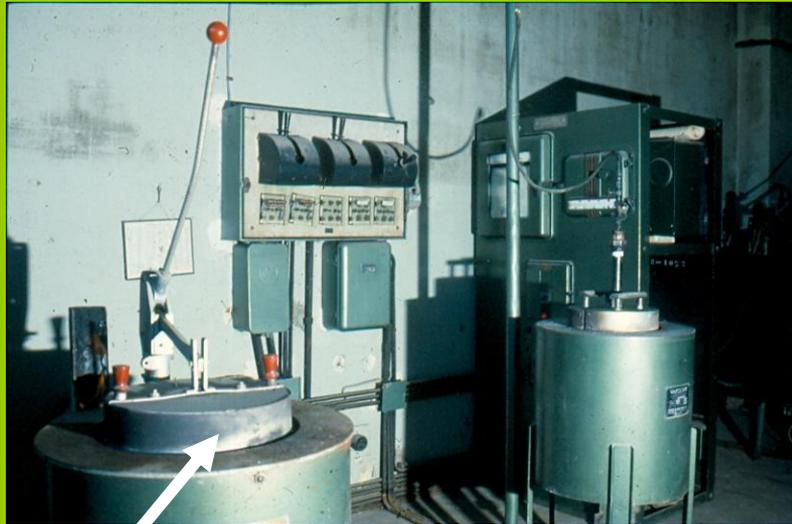
# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial



Fenómeno de exfoliación

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial

Cementación gaseosa

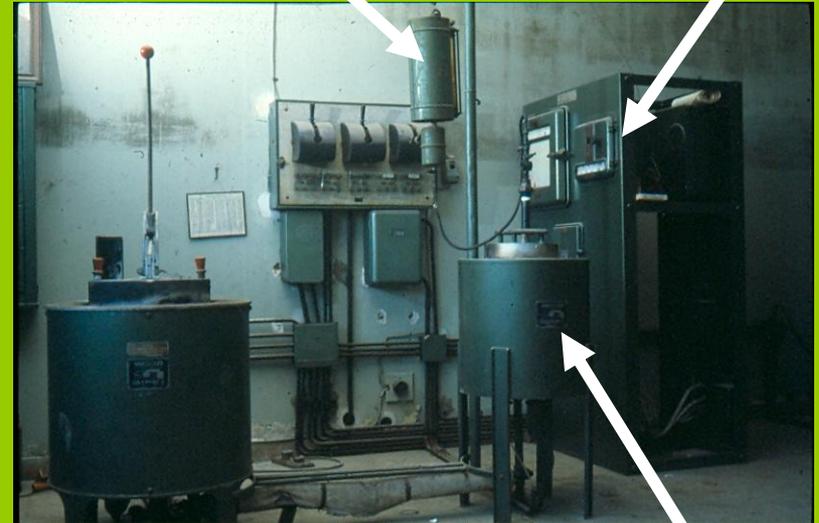


Horno de cementación y temple

Instalación para cementación gaseosa

Hidrocarburo

Panel de control



Horno para preparar atmósfera

# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial



Fijación de temperatura



Registro gráfico de temperatura

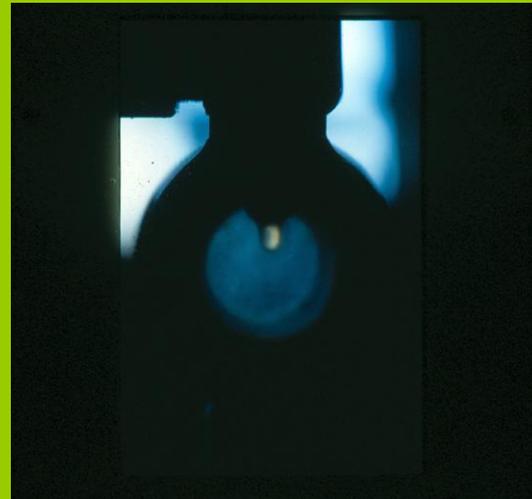
# Tratamiento térmico superficial o endurecimiento superficial



Apertura de caída del hidrocarburo



Visor de goteo



Registro de goteo