

## DEFORMACION DEL ACERO

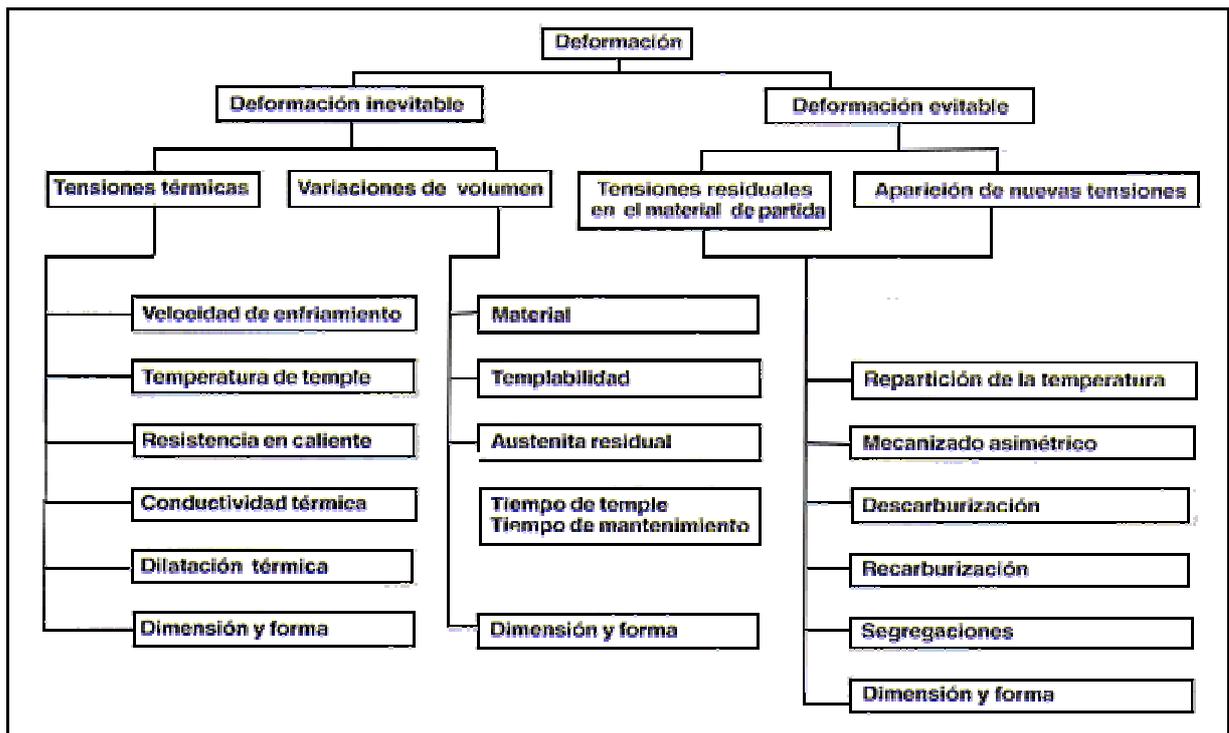
DEFORMACION = CAMBIOS DIMENSIONALES+CAMBIOS EN LA FORMA

Según la norma DIN 17014, el término deformación se define como el cambio dimensional y de forma de un pieza del producto de un tratamiento térmico. El cambio dimensional se refiere únicamente a un cambio de tamaño, más no a un cambio en la forma.

Los cambios dimensionales y los cambios en la forma pueden ocurrir separadamente, pero en general, ocurren simultáneamente y se sobreponen los unos a los otros. Ellos representan un factor muy importante en los costos de producción ya que la deformación durante el tratamiento térmico puede dañar el éxito de un costoso proceso de manufactura en las últimas etapas de producción.

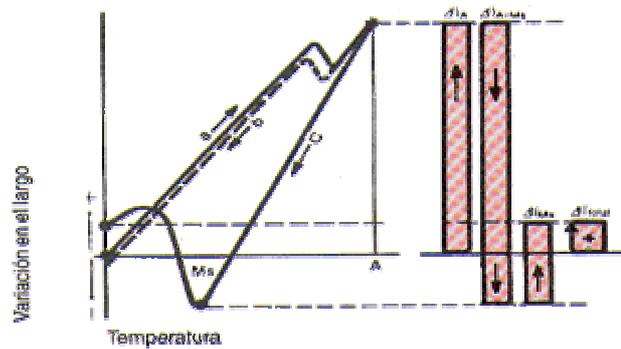
La **deformación inevitable**, es el resultado de **cambios volumétricos producidos por cambios estructurales** durante el calentamiento y el enfriamiento, así como por **tensiones térmicas** causadas por variaciones de temperatura al interior de la pieza (diferencias de dilatación entre la superficie y el núcleo durante el calentamiento y contracción diferente durante el enfriamiento). La deformación puede compensarse o controlarse si los factores que la gobiernan han sido precisamente considerados en las etapas de diseño y producción.

La **deformación evitable**, es el resultado de un tratamiento térmico inapropiado o de una equivocada selección de materiales.



### CAMBIOS VOLUMETRICOS CAUSADOS POR CAMBIOS ESTRUCTURALES

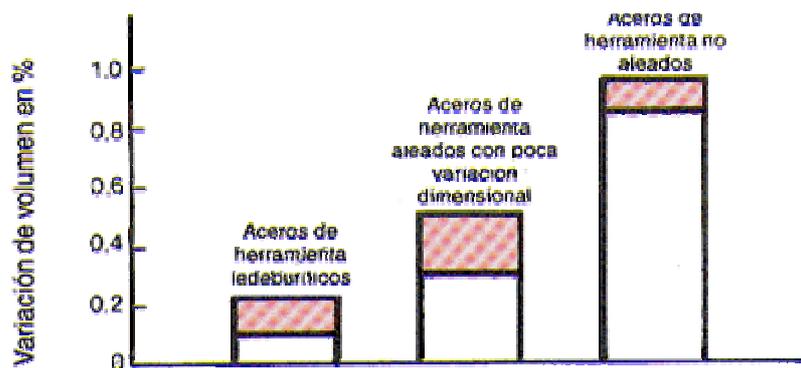
La **expansión térmica** hace que las piezas aumenten su tamaño durante las fases ferrítica y austenítica. La transformación de la ferrita en austenita provoca una contracción. En caso de un enfriamiento lento, el cambio durante el calentamiento (curva a) prácticamente se cancelará por el cambio durante el enfriamiento (curva b). Los cambios dimensionales permanentes causados por **cambios estructurales**, solamente ocurren a elevadas velocidades de enfriamiento (curva c).



Curvas de dilatómetro y cambios en la longitud  
 A = Temperatura de austenización  
 Ms = Comienzo de la transformación de la martensita

A medida que el contenido de martensita aumenta, el volumen y el largo de la pieza aumentarán acorde. Contenidos crecientes de austenita residual harán disminuir el cambio positivo en el largo de la pieza e incluso pueden producir una contracción.

El mayor volumen obtenido durante el temple depende del tipo de acero utilizado. Los valores que se indican en la gráfica a continuación se aplican para un temple a fondo completo.



Variación de volumen durante el temple

A medida que aumenta el espesor de una pieza, se alcanza un límite después del cual no es posible el temple a fondo. La transformación de la martensita y los incrementos en el volumen afectan únicamente la zona exterior y el incremento y el crecimiento volumétrico total es menor.

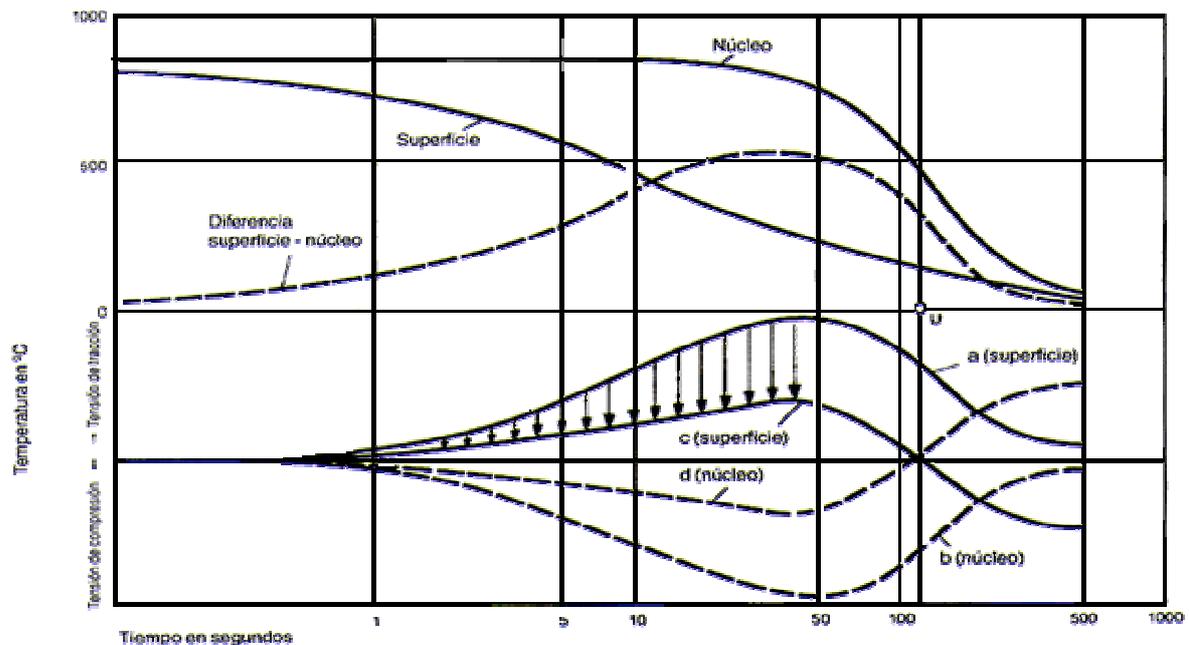
En otras palabras, el cambio dimensional depende de la **profundidad de transformación** de un tipo de acero y de su composición química típica.

La influencia de la **temperatura de temple** puede diferir de caso a caso. En aceros con bajas profundidades de transformación, la profundidad del temple y en consecuencia el aumento en volumen, crecerán a medida que crece la temperatura de temple. Al contrario, en aceros con una gran profundidad de transformación, el incremento de la temperatura de temple producirá un menos crecimiento volumétrico debido al mayor contenido de austenita residual.

## CAMBIOS EN LA FORMA CAUSADOS POR TENSIONES TERMICAS

Durante el calentamiento y en particular durante el enfriamiento rápido requerido por las operaciones de temple, se producen **tensiones térmicas** al interior de la pieza causadas por la diferencia de temperatura entre la superior y el núcleo. Esto conduce a cambios en la forma.

Durante el enfriamiento, la temperatura de la zona superficial disminuye más rápidamente que en el núcleo. La menor contracción del núcleo impide mayores contracciones en la zona superficial. Este hecho produce tensiones de tracción en la superficie y tensiones de compresión en el núcleo. Si el material fuese capaz de sufrir una deformación elástica, la pieza quedaría libre de tensiones en el punto en que la temperatura del núcleo se iguala a la temperatura superficial. En general, la resistencia a altas temperaturas de un material no es lo suficientemente alta para lograr tal estado libre de tensiones. Si se excede el límite elástico en caliente, ocurrirá una deformación plástica que conduce a una reducción de las tensiones de tracción en la zona superficial y -por razones de equilibrio- a una reducción similar de las tensiones de compresión en el núcleo. El tamaño de la deformación plástica se indica por el área marcada con flechas entre la curva a y c. cuando se alcanza el punto de la máxima diferencia de temperaturas, la contracción en el núcleo es mayor que en la zona superficial (después de un periodo U) hasta que desaparecen. Como consecuencia de la contracción que sigue sucediendo en el núcleo ya que éste está aún más caliente, la zona superficial está sometida a tensiones de compresión que permanecen en forma de tensiones residuales.



Las curvas ilustran la distribución de temperatura y tensión térmica durante el enfriamiento.

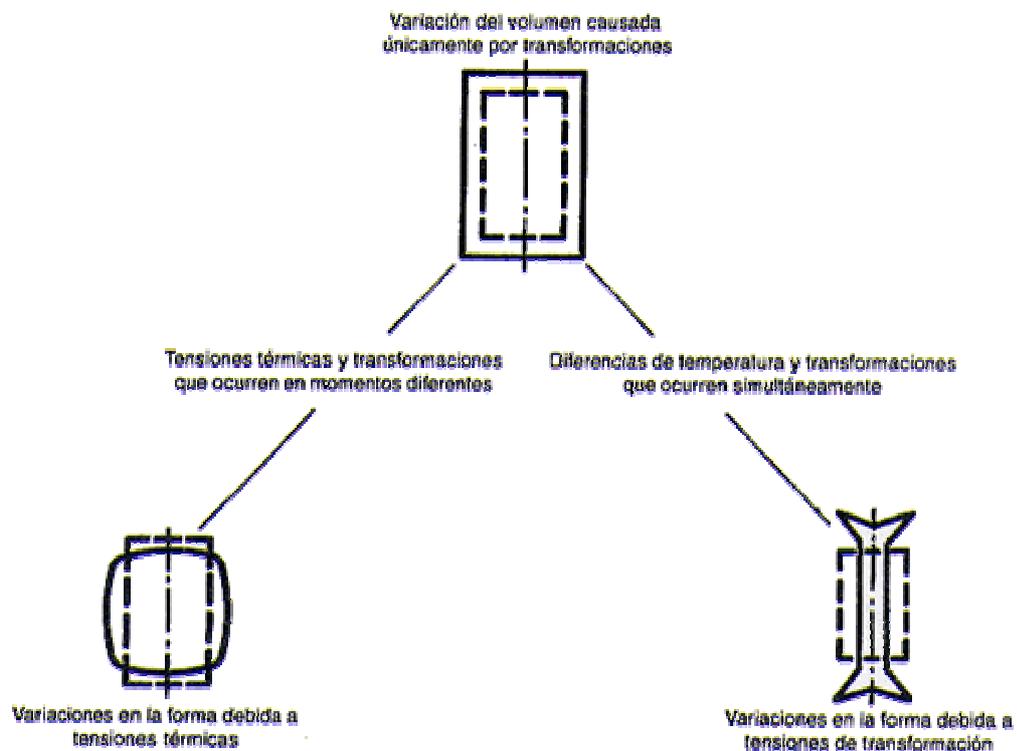
## EFFECTO COMBINADO DEL CAMBIO VOLUMETRICO DEBIDO A LA TRASFORMACION ESTRUCTURAL Y DEL CAMBIO EN LA FORMA DEBIDO A TENSIONES TERMICAS

Como consecuencia de las diferentes condiciones de enfriamiento en la superficie y en el núcleo, el crecimiento volumétrico causado por la transformación estructural no ocurre simultáneamente sobre toda la sección transversal. Esto produce tensiones de transformación que actúan en dirección opuesta a las tensiones térmicas.

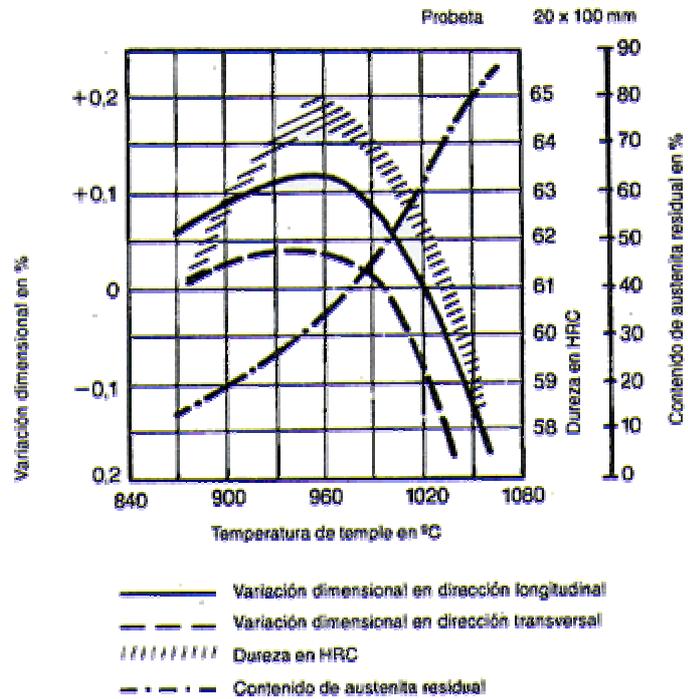
El efecto de las tensiones térmicas será denominante y los cuerpos cilíndricos asumirán la **forma de barril** descrita anteriormente, si la austenita se transforma:

- tanto en la superficie como en el núcleo, antes del momento de las mayores tensiones térmicas
- tanto en la superficie como en el núcleo, después del momento de las mayores tensiones térmicas o
- en la superficie después y en el núcleo antes de este momento (P. ej. aceros de cementación).

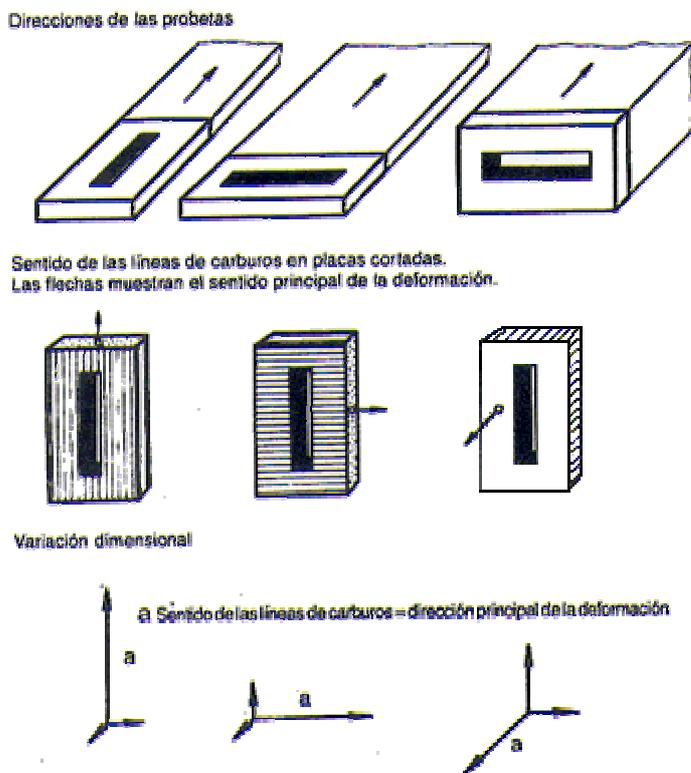
En el caso de una transformación en la zona superficial que suceda antes o durante el momento de las mayores tensiones térmicas y en el caso de una transformación en el núcleo, después de éste momento, un cuerpo que haya tenido forma cilíndrica en estado recocido asume una forma parecida a un **carrete**. En este caso, las tensiones de tracción superficiales producidas durante el enfriamiento se disminuyen por el **incremento volumétrico** debido a la **transformación estructural**. Otros factores como las propiedades del material, diseño y condiciones de tratamiento térmico deben ser tomados en cuenta.



En el caso de aceros de herramienta con altos contenidos de cromo y carbono, debe considerarse que el cambio dimensional puede variar por el efecto de las bandas de carburo en dirección longitudinal y transversal.



Es por ésta razón que el cambio dimensional también está influenciado por la escogencia inicial del material (P.ej. diferentes direcciones de deformación principal en la barra de acero).



## **DEFORMACIÓN EVITABLE**

La razón de éste cambio dimensional normalmente es la distribución asimétrica de las tensiones que, cuando son eliminadas por la deformación plástica durante el calentamiento, conducen a un cambio en los radios y ángulos. Estas tensiones asimétricas pueden encontrarse incluso en el material de partida en forma de tensiones residuales producidas por operaciones de enfriamiento, deformación, maquinado o soldadura. Estas pueden ser también producidas durante el tratamiento térmico o causadas por inhomogeneidades al interior del material o por un inapropiado diseño de la pieza.

### **Tensiones residuales**

Un típico ejemplo de esto es el cambio en la forma producido por el relevo de tensiones después del enderezado o después de operaciones de mecanizado extensivas. En todos estos casos, es necesario hacer un tratamiento de relevo de tensiones antes de efectuar el tratamiento térmico.

### **Tensiones del tratamiento Térmico**

Siempre se debe tratar de evitar un calentamiento o un enfriamiento no uniforme (calentamiento lento o por etapas con igualación de temperatura; calentando piezas delgadas se doblen enfriando únicamente a la velocidad necesaria para obtener las propiedades requeridas, evitando operaciones unilaterales de temple).

### **Inhomogeneidades al interior del material**

Evitar la descarburación o la carburación no uniforme mecanizando el acero por ambos lados (asegurarse de observar las tolerancias de mecanizado).

Al seleccionar los materiales de trabajo es necesario poner atención a posibles diferencias en la composición química sobre la sección transversal (segregaciones).

La presencia de segregaciones puede evitarse mediante el uso de procesos especiales de producción.

### **Geometría de las piezas**

Siempre que sea posible, las piezas deben ser diseñadas con forma simétrica.

La deformación también puede ser contrarrestada conformando las piezas en la dirección opuesta a la deformación esperada o utilizando dispositivos de sujeción adecuados.

## **ENDEREZADO**

Dentro de ciertos límites, los cambios en la forma producidos durante el tratamiento térmico pueden ser corregidos por medio de operaciones de enderezado. El enderezado de las piezas en estado frío o poco antes de alcanzar la temperatura ambiente puede ser realizado con prensas o máquinas de enderezado o con la aplicación de presión localizada, por ejemplo, golpeando con un martillo de enderezado. En algunos casos también puede ser ventajoso realizar la operación de enderezado después del enfriamiento en el baño de sales exactamente por encima de la temperatura  $M_s$ , ya que la austenita tiene valores de tenacidad más elevados. Después de cada operación de enderezado se recomienda un tratamiento de relevo de tensiones.