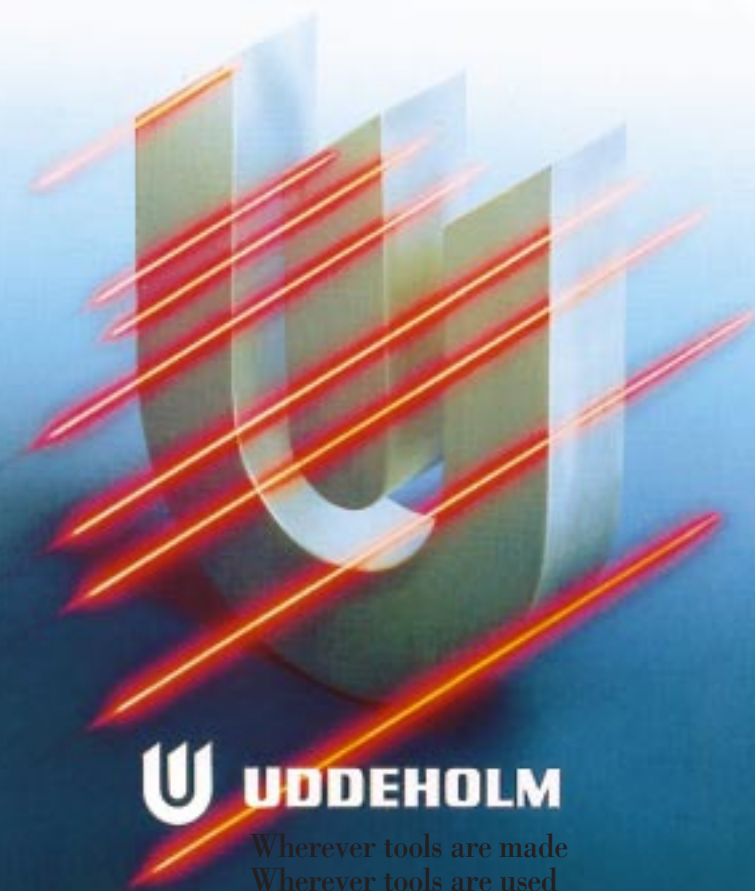




# TRATAMIENTO TERMICO DE ACERO PARA UTILLAJES



 **UDDEHOLM**

Wherever tools are made  
Wherever tools are used

---

# Contenido

|   |    |
|---|----|
| ¿Qué es el acero para utillajes? .....                          | 3  |
| Temple y revenido .....   | 3  |
| Estabilidad de forma y dimensional .....                        | 8  |
| Tratamiento de la superficie .....                              | 10 |
| Prueba de las propiedades mecánicas .....                       | 12 |
| Algunas recomendaciones para el<br>diseñador del utillaje ..... | 13 |

---

El propósito de éste folleto informativo es proporcionar algunas ideas de cómo es tratado térmicamente el acero para utillajes y cual es su comportamiento.

## ¿Qué es el acero para utillajes?

Uddeholm ha concentrado su gama de acero para utillajes en los tipos de acero de alta aleación, intencionados en principio, para propósitos tales como moldeo de plástico, corte y estampación, fundición inyectada, extrusión, forja, trabajo de la madera...

Los aceros rápidos convencionales y los aceros pulvimetalúrgicos (PM) están también incluidos en ésta gama.

Normalmente el acero para utillajes se suministra en estado recocido blando. Ello es así porque de éste modo, el material es más fácil de mecanizar con herramientas de corte y darle además, una microestructura adecuada para el temple.

La microestructura consiste en una matriz blanda en la que los carburos están sujetos. En los aceros al carbono, estos carburos consisten en carburos de hierro, mientras que en los aceros aleados existen carburos de Cromo (Cr), Tungsteno (W), Molibdeno (Mo) o Vanadio (V), dependiendo de la composición del acero. Los carburos están compuestos de carbono y de éstos elementos de aleación, caracterizándose por su alta dureza. Un contenido más alto de carbono significa una más alta resistencia al desgaste.

En los aceros aleados es importante que los carburos se encuentren distribuidos de forma uniforme.

Otros elementos de aleación son utilizados también en el acero para utillajes, como por ejemplo el Cobalto (Co) y el Níquel (Ni), pero éstos no forman carburos. Normalmente es utilizado el Cobalto para mejorar la dureza en caliente en el acero rápido, y el Níquel para mejorar las propiedades durante el temple.

## Temple y revenido

Cuando se temple un acero, muchos factores tienen influencia en su resultado.

### ALGUNOS ASPECTOS TERMICOS

En los aceros recocidos, la mayoría de los elementos de aleación están juntos con carbono en los carburos. Además de esto, existen los elementos de aleación Cobalto y Níquel, que no forman carburos, pero en cambio, se encuentran disueltos en la matriz.

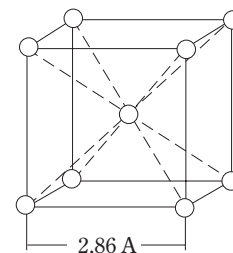
Cuando el acero se calienta para el temple, la idea básica es disolver los carburos hasta tal punto que la matriz adquiera un contenido de aleación que confiera el efecto del temple – sin convertirse en grano basto y frágil. Hay que hacer notar, que los carburos se encuentran parcialmente disueltos. Significa por tanto, que la matriz se ve aleada con carbono y elementos que forman carburos.

Cuando el acero se calienta hasta alcanzar la temperatura de temple (temperatura de austenización), los aceros se disuelven parcialmente y la matriz se ve también alterada. Se transforma de ferrita en austenita. Es decir, los átomos de hierro cambian su posición en la estructura de átomos y dejan espacio para los átomos de carbono y los elementos de aleación. El carbono y los elementos de aleación provenientes de los carburos se disuelven en la matriz.

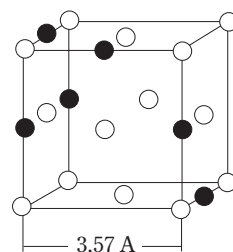
Si el acero se enfría lo suficientemente rápido en el proceso de temple, los átomos de carbono no tienen tiempo para volver a posicionarse por sí solos y permitir la nueva formación de ferrita a austenita como ocurre por ejemplo en el recocido. De forma contraria, éstos están sujetos a posiciones donde no cuentan realmente con espacio suficiente, y el resultado es grandes microtensiones que pueden ser definidas como un aumento de dureza. Esta estructura dura se denomina martensita. Por tanto, la martensita puede ser observada como una solución forzada de carbono en ferrita.

- = átomos de hierro
- = posible posición de los átomos de carbono

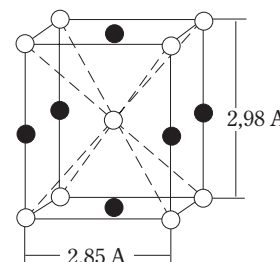
Unidad de célula en un cristal de ferrita. Forma cúbica central (BCC).



Unidad de célula en un cristal de austenita. Forma cúbica frontal (FCC).



Unidad de célula en un cristal de martensita.



Cuando se temple el acero, la matriz se convierte completamente en martensita. Alguna austenita queda siempre y a ésta la denominamos «austenita retenida». La cantidad aumenta con el incremento del contenido de aleación, la más alta temperatura de temple, y el tiempo de inmersión más prolongado.

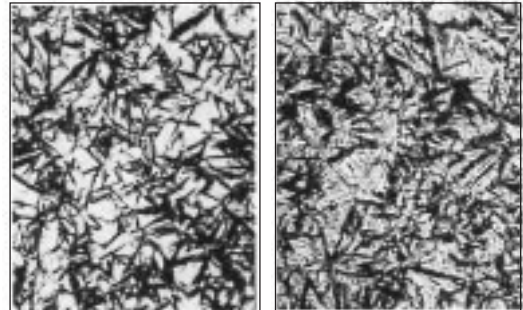
Después del enfriamiento, el acero cuenta con una microestructura que consiste en martensita, austenita retenida y carburos. Esta estructura contiene tensiones inherentes que pueden causar fácilmente la rotura. Pero ello puede prevenirse mediante un nuevo calentamiento del acero a una cierta temperatura, reduciendo las tensiones y transformando la austenita retenida hasta el punto de que dependa de la temperatura de nuevo calentamiento.

Este nuevo calentamiento después del temple se denomina revenido. El temple de un acero para utillajes debería estar «siempre» seguido inmediatamente por un revenido.

Debe hacerse constar que un revenido a baja temperatura solo afecta la martensita, mientras que un revenido a alta temperatura afecta también la austenita retenida.

Después de un revenido a alta temperatura la microestructura consiste en martensita revenida, martensita de nueva formación, alguna austenita retenida y carburos. Los carburos precipitados en segundo lugar (de nueva formación) y la martensita de nueva formación pueden aumentar la dureza durante el revenido a alta temperatura. Es típico de esto el llamado temple secundario, para acero rápido y acero para utillajes de alta aleación.

El segundo revenido se cuida de la martensita secundaria formada después del primer revenido. Se recomiendan tres revenidos para el acero rápido con alto contenido en carbono.



1 revenido

2 revenidos

1000x

*RIGOR templado y revenido.*

#### COMO SE REALIZA EN LA PRACTICA EL TEMPLE Y REVENIDO

Debe siempre tenerse en consideración la distorsión que ocurre durante el temple cuando es el momento de realizar el mecanizado de desbaste. El desbaste causa un aumento de temperatura local y un trabajo mecánico en el acero para utillajes, dando lugar a tensiones inherentes. Ello no es muy serio en una pieza simétrica de diseño simple, pero puede ser de significativa importancia en un mecanizado asimétrico, por ejemplo en una mitad de un molde de fundición inyectada. En éste caso, siempre recomendamos realizar una liberación de tensiones (estabilizado).

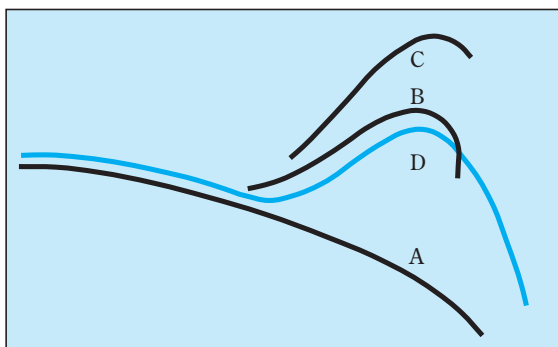
#### Liberación de tensiones (estabilizado)

Este tratamiento se realiza después del mecanizado de desbaste, y supone un calentamiento a 550–650° C. El material debería calentarse hasta que alcance una temperatura uniforme en toda su masa y luego enfriar lentamente, por ejemplo en horno. La finalidad de la liberación de tensiones es que el límite de elasticidad del material a elevada temperatura es tan bajo que el material no puede resistir las tensiones inherentes. El límite de elasticidad es superado y éstas tensiones son liberadas, resultando en un mayor o menor grado de distorsión.

La correcta secuencia de trabajo es la siguiente: *mecanizado de desbaste, liberación de tensiones (estabilizado) y mecanizado final.*

La excusa de que por realizar el estabilizado se pierde demasiado tiempo es difícilmente válida. El proceso de rectificar una pieza durante el mecanizado de acabado de un material recocado es, con pocas excepciones, más económico que realizar ajustes dimensionales en un utillaje templado.

Dureza



Temperatura de revenido

- A = rejuvenido de la martensita
- B = precipitación de carburos
- C = transformación de la austenita retenida en martensita
- D = diagrama de revenido para acero rápido y acero para utillajes de alta aleación

$$A + B + C = D$$

*El acero para utillajes debería ser siempre revenido dos veces.*

### Calentamiento hasta alcanzar la temperatura de temple

La regla fundamental para calentar hasta la temperatura de temple consiste en que el calentamiento se realice de forma lenta. Ello minimiza la distorsión.

En hornos de vacío y en hornos con atmósfera de gas protector controlado, el calor aumenta de forma gradual. Cuando los baños de sal fundida son utilizados, debe usarse precalentamiento, mientras que el calentamiento es automáticamente lento cuando el acero está envuelto en viruta de hierro.

En un lecho fluidizado se combinan las ventajas del baño de sales y de la atmósfera protegida. Los niveles de calentamiento y enfriamiento pueden compararse con el baño de sales. Los óxidos



Horno de vacío.



Horno de atmósfera controlada.



Horno de baño de sales.

de Al y el gas utilizado como atmósfera protegida son menos perjudiciales para el medio ambiente que el baño de sales.

Es importante que los utillajes se protejan contra la oxidación y decarburación. La mejor protección la proporciona un horno de vacío, donde la superficie del acero no se ve afectada.

Los hornos con atmósfera de gas controlada o baño de sales proporcionan también una buena protección.

Si es utilizado un horno de mufla eléctrica, el utillaje puede protegerse envolviéndolo en carbón vegetal o viruta de hierro.

Debe tenerse en cuenta que estos materiales envolventes pueden tener un efecto carburizante si los aceros tienen un bajo contenido en carbono, como por ejemplo los aceros convencionales para utillajes de trabajo en caliente.

El envolver el utillaje en papel térmico proporciona también una buena protección al calentar en un horno de mufla. La decarburación resulta en una baja dureza en la superficie y en un riesgo de roturas.

La carburación resulta en una capa más dura en la superficie que puede tener efectos negativos.

### Tiempo de mantenimiento y temperatura de temple

No es posible dar recomendaciones exactas de forma breve a fin de poder cubrir todas las situaciones de calentamiento.

Factores tales como el tipo de horno, condiciones de éste, nivel de temperatura, peso de la carga en relación al tamaño del horno, etc., deben ser tomadas en consideración en cada caso.

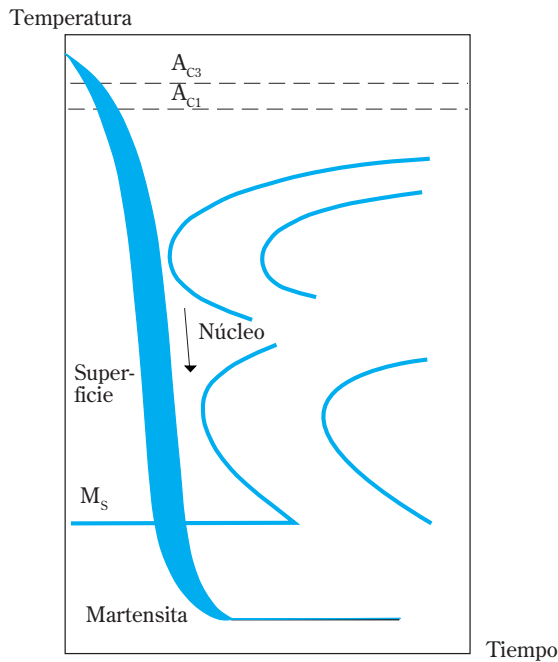
De todos modos, podemos dar una recomendación que es válida virtualmente en todas las situaciones:

Cuando el acero ha alcanzado la temperatura de temple en todo su espesor, mantener a ésta temperatura durante 30 minutos. Una excepción a ésta regla es para piezas delgadas o finas calentadas en baño de sales a alta temperatura o bien acero rápido. En éstos casos el periodo total de inmersión es a menudo de pocos minutos.

### Enfriamiento

La elección entre un nivel de enfriamiento rápido o lento es normalmente un compromiso: para obtener la mejor microestructura y rendimiento del utillaje, el nivel de enfriamiento debería ser rápido; pero a fin de minimizar la distorsión se recomienda un enfriamiento lento.

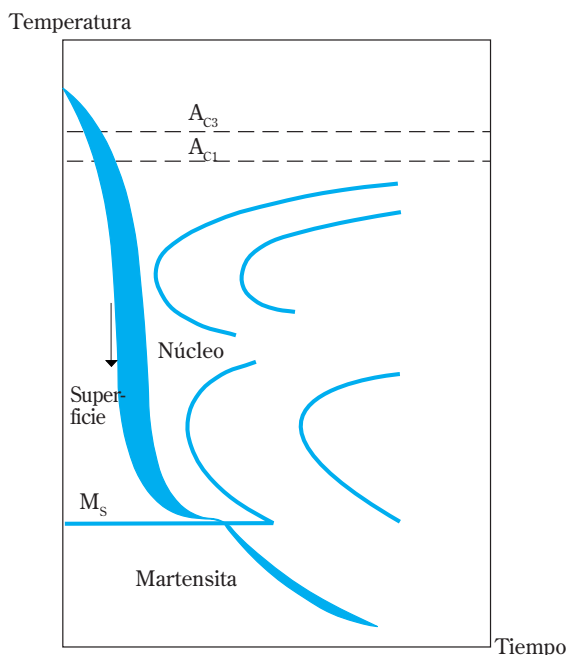
Un enfriamiento lento resulta en una menor diferencia de temperatura entre la superficie y el núcleo de la pieza, y secciones de distinto espesor un nivel de enfriamiento más uniforme.



Proceso de enfriamiento expresado en un gráfico TTT.

Ello es de gran importancia al enfriar a través de la zona de martensita, por debajo de la temperatura  $M_s$ . La formación de martensita conlleva un aumento en volumen y tensiones en el material. Esta es también la razón por la cual el enfriamiento debe ser interrumpido antes de que se alcance la temperatura ambiente, normalmente a  $50-70^\circ\text{C}$ .

Sin embargo, si el nivel de enfriamiento es demasiado lento, especialmente en grandes secciones transversales, pueden ocurrir transformaciones no deseables en la microestructura, corriendo el riesgo de obtener un bajo rendimiento en el utillaje.



Martempering.

Si se utiliza el agua como un medio de enfriamiento en aceros no aleados. Un 8-10 % de cloruro de sodio (sal) o soda debería añadirse al agua a fin de conseguir la óptima eficacia en refrigeración.

La refrigeración por agua puede, en varias ocasiones, causar problemas en forma de distorsión y grietas de enfriamiento. El temple en aceite es más seguro, pero el temple al aire o martempering es el mejor de todos.

Debería utilizarse aceite para *aceros de baja aleación*.

El aceite debe ser de buena calidad y preferiblemente del tipo de enfriamiento rápido. Este deberá mantenerse limpio y cambiarse después de un cierto periodo de tiempo en uso.

Los aceites de temple deben tener una temperatura de  $60-70^\circ\text{C}$  para aportar la mejor eficacia en el tratamiento. Una temperatura más baja significa una mayor viscosidad, es decir el aceite es más espeso.

El temple en aceite no es el método más seguro para enfriar el acero puesto que existe el riesgo de distorsión y aparición de grietas de temple. Estos riesgos pueden verse reducidos si se utiliza el *martempering*. En éste proceso el material es enfriado en dos etapas. Primero se enfría desde la temperatura de temple en un baño de sales cuya temperatura se encuentra justo por encima de la temperatura  $M_s$ . Se mantiene allí hasta que la temperatura se ha equilibrado entre la de la superficie y la temperatura del núcleo, después de la cual el utillaje puede dejarse enfriar libremente al aire hasta el nivel de transformación de la martensita.

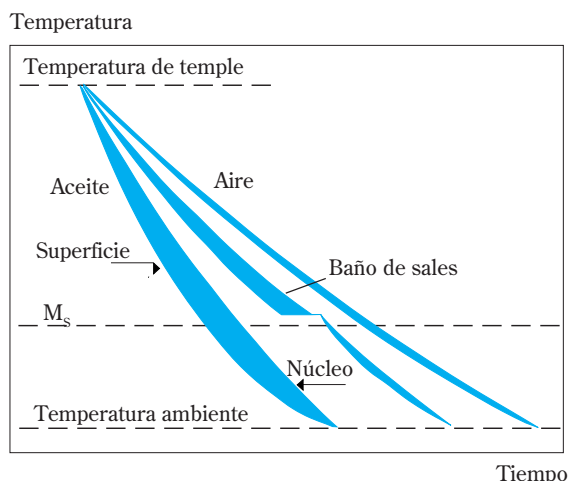
Al realizar el *martempering* en aceros de temple al aceite, deberá también tenerse en cuenta que el material se transforma de manera relativamente rápida y no debería mantenerse mucho tiempo a la temperatura del baño de *martempering*. Ello puede conducir a una excesiva transformación de bainita y también a un riesgo de baja dureza.

Los *aceros de alta aleación* pueden templarse en aceite, en baño de *martempering* o al aire. Las ventajas y desventajas de éstos distintos métodos pueden ser discutibles.

El *aceite* aporta un buen acabado y alta dureza, pero maximiza el riesgo de distorsión excesiva o roturas. En el caso de piezas de gran espesor, el enfriamiento en aceite es a menudo el único modo de conseguir la máxima dureza.

El *martempering* en baño de sales produce un buen acabado, alta dureza y un menor riesgo de excesiva distorsión o roturas.

Para algunos tipos de acero, la temperatura del baño de sales se mantiene normalmente a unos  $500^\circ\text{C}$ . Esta temperatura asegura un choque térmico relativamente suave, pero al mismo tiempo, un nivel de refrigeración suficiente para evitar transformaciones fase.



Niveles de enfriamiento para distintos medios.

Una completa transformación a martensita tiene, en muchos casos, tiempo para que ocurra cuando el acero se enfría al aire desde la temperatura del baño de martemple. Sin embargo, si las dimensiones son grandes, es casi siempre necesario, utilizar un enfriamiento forzado dependiendo de la templabilidad del acero.

El enfriamiento *al aire* conlleva el menor riesgo de distorsión excesiva. Se hace notar una tendencia hacia una dureza más baja en grandes espesores. Una de las desventajas es el pobre acabado. Una cierta oxidación aparece cuando el material entra en contacto con el aire y se enfría lentamente desde la temperatura más alta de temple.

La elección del medio de enfriamiento deberá realizarse en función de cada trabajo a efectuar, pero una recomendación general podría ser la siguiente:

El *baño de martemple* es en la mayoría de los casos, el método más seguro.

El *aire* se utiliza cuando la estabilidad dimensional es de vital importancia.

El *aceite* debería evitarse y utilizarse solo cuando sea necesario obtener una dureza satisfactoria en secciones grandes.

Tres métodos de enfriamiento bien conocidos han sido ya mencionados en éste folleto. Algunos nuevos conceptos han sido introducidos con los modernos tipos de horno, y la técnica de enfriamiento a un nivel controlado en una *atmósfera de gas protector* o en un *horno de vacío con gas* esta siendo cada vez más extendida. El nivel de enfriamiento es, a grandes trazos, el mismo que en aire para atmósfera de gas protector, pero queda eliminado el problema de superficies oxidadas. Los modernos hornos de vacío cuentan con la posibilidad de utilizar sobrepresión durante el enfriamiento, lo cual aumenta la velocidad de enfriamiento. Las superficies están completamente limpias después de realizar un temple al vacío.

Con éstas técnicas, como en el enfriamiento al aire, el riesgo de un enfriamiento excesivamente lento deberá tenerse en siempre en consideración, incluso para hornos de vacío si no se utiliza sobrepresión. El efecto es que la dureza de la superficie es normalmente más baja que la esperada. La dureza en el centro de secciones grandes es incluso menor.

Este efecto puede ser crítico con el acero rápido y acero para utillajes de trabajo en caliente, donde una sección central puede enfriarse tan lentamente que aparece la precipitación de carburos en el descenso. Aquí, la matriz se vacía de carbono y de elementos de aleación formadores de carburos. El resultado es una reducción de dureza y resistencia del núcleo.

### Revenido

El material debería revenirse inmediatamente después del enfriamiento. El enfriamiento debe detenerse a una temperatura de 50–70°C, y el revenido deberá realizarse inmediatamente. Si ello no es posible, el material deberá mantenerse caliente, es decir en una cámara caliente, esperando el revenido.

La elección de la temperatura de revenido la determina, en la mayoría de los casos, la experiencia. Sin embargo, algunas directrices pueden darse y los siguientes factores deben tenerse en consideración:

- dureza
- tenacidad
- cambios dimensionales.

Si desea obtenerse la máxima dureza, revenir a aprox. 200°C, pero nunca a una temperatura inferior a los 180°C. El acero rápido se revene normalmente a 20°C por encima de la temperatura más alta del segundo temple.

Si se requiere una dureza más baja, ello significa una temperatura más alta de revenido. Una reducción de dureza no conlleva siempre un aumento de tenacidad, como se hace evidente en los valores de tenacidad mencionados en nuestros folletos informativos. Si la estabilidad dimensional cuenta



Horno de revenido tipo convección.

también con una importante consideración, la elección de la temperatura de revenido acostumbra a ser un compromiso. Aunque si es posible, habría que dar prioridad a la tenacidad.

### ¿Cuántos revenidos son necesarios?

Recomendamos dos revenidos para el acero para utillajes, y tres son los considerados necesarios para el acero rápido con alto contenido en carbono, es decir superior al 1 %.

Siempre se recomiendan dos revenidos. Si es seguida la norma básica en el enfriamiento – interrumpir al alcanzar 50–70°C – entonces una cierta cantidad de austenita permanece sin transformarse cuando el material debe ser revenido. Cuando el material se enfría después del revenido, la mayor parte de la austenita se transforma en martensita. No está revenida. Un segundo revenido aporta al material la tenacidad óptima a la dureza en cuestión.

El mismo tipo de razonamiento puede aplicarse por lo que se refiere a la austenita retenida en el acero rápido. En éste caso sin embargo, la austenita retenida está altamente aleada y es de lenta transformación. Durante el revenido, aparece alguna difusión en la austenita, se precipitan carburos secundarios, la austenita está menos aleada y es más fácil su transformación a martensita cuando se enfría después del revenido. En éste caso, varios revenidos pueden ser beneficiosos para conducir la transformación de austenita retenida en martensita.

### Tiempos de mantenimiento en conexión con el revenido

En éste caso también deberían evitarse todas las fórmulas complicadas y empíricas y adoptar la siguiente recomendación:

*Mantener siempre el material, durante al menos 2 horas a máxima temperatura.*

## Estabilidad de forma y dimensional

### DISTORSION DURANTE EL TEMPLE Y REVENIDO DE ACERO PARA UTILLAJES

Cuando una pieza de acero es templada y revenida, algún tipo de daño o distorsión ocurre normalmente. Esta distorsión generalmente es mayor a altas temperaturas.

Este problema es muy conocido y por tanto, es ya una práctica habitual dejar una cierta tolerancia de mecanizado en el utillaje antes de realizar el temple. Ello hace posible el ajustar el utillaje a las dimensiones correctas después de temple y revenido mediante por ejemplo, un simple rectificado.

### ¿COMO OCURRE LA DISTORSION?

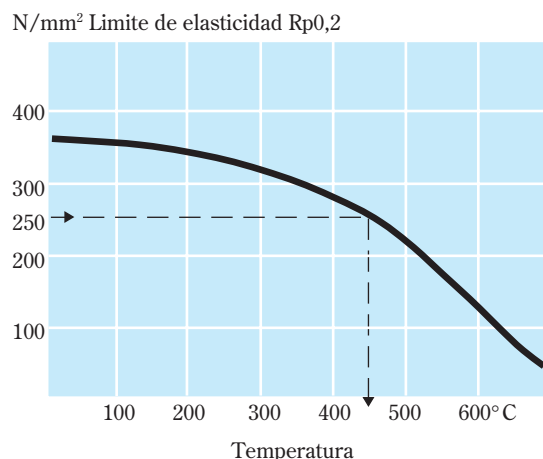
La causa son tensiones en el material. Estas tensiones pueden dividirse en:

- Tensiones de mecanizado
- Tensiones térmicas
- Tensiones de transformación.

### Tensiones de mecanizado

Este tipo de tensiones se genera durante las operaciones de mecanizado como torneado, fresado y rectificado. (Por ejemplo estas tensiones están formadas en su mayor parte, durante operaciones de conformado en frío, como corte, doblado o embutición).

Si las tensiones han aparecido en una pieza, ésta se liberarán durante el calentamiento. El calentamiento reduce la resistencia, liberando las



Efecto de la temperatura sobre el límite de elasticidad de ORVAR 2 Microdized en estado recocido blando.



tensiones mediante una distorsión local. Ello puede conllevar una distorsión total.

A fin de reducir la distorsión al calentar durante el proceso de temple, puede llevarse a cabo una operación de liberación de tensiones (estabilizado). Se recomienda que el material sea estabilizado después de realizar una mecanizado de desbaste. Cualquier distorsión puede ajustarse durante un mecanizado final antes del enfriamiento.

### Tensiones térmicas

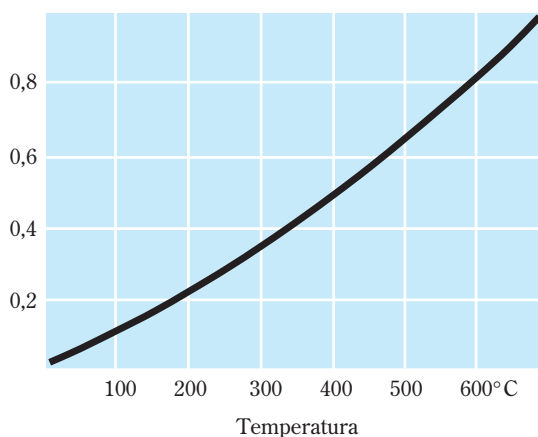
Estas tensiones se crean al calentar la pieza. Aumentan si el calentamiento se lleva a cabo de forma rápida o poco uniforme. El volumen del acero aumenta mediante el calor. Un calentamiento poco uniforme puede resultar en variaciones locales de crecimiento de volumen, conllevando tensiones y distorsión.

Debe siempre realizarse una prueba calentando de forma lo suficientemente lenta a fin de que la temperatura permanezca virtualmente igual en toda la pieza.

Todo lo que hemos mencionado anteriormente sobre el calentamiento es también aplicable al enfriamiento. Tensiones muy potentes aparecen durante el enfriamiento. Como norma general, cuanto más lento pueda realizarse el enfriamiento, menor distorsión aparecerá por causa de las tensiones térmicas.

Es de gran importancia que el medio de enfriamiento sea aplicado de la forma más uniforme posible. Ello es especialmente válido cuando aire forzado o atmósfera de gas protegido (como hornos de vacío) son utilizados. Si no fuera así, diferencias de temperatura en el utillaje pueden ocasionar una distorsión importante.

Expansión lineal mm/100 mm



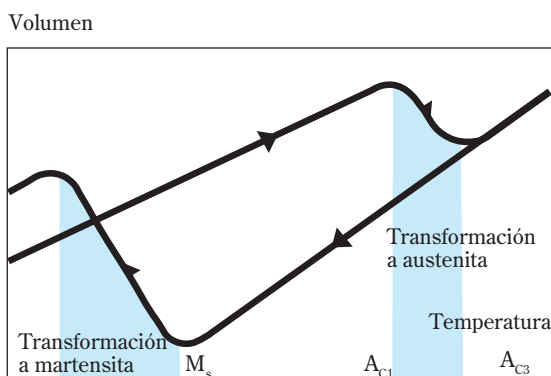
*Efecto de la temperatura en la expansión lineal de ORVAR 2 Microdized en estado recocido blando.*

### Tensiones de transformación

Este tipo de tensiones aparece cuando se transforma la microestructura del acero. Ello es porque las tres microestructuras en cuestión – ferrita, austenita y martensita – cuentan con distintas densidades, es decir distintos volúmenes.

El mayor efecto es el causado por la transformación de austenita a martensita. Ello crea un aumento de volumen.

Un enfriamiento excesivamente rápido y poco uniforme puede causar también la formación local de martensita, y por tanto el volumen aumenta localmente en la pieza y da lugar a tensiones en ésta sección. Estas tensiones pueden traer consigo distorsión, y en algunos casos, roturas o grietas de enfriamiento.



*Cambio de volúmenes debido a la transformación estructural.*

### ¿COMO PUEDE REDUCIRSE LA DISTORSION?

- Contar con un diseño simple y simétrico
- Eliminar las tensiones de mecanizado mediante un estabilizado después del mecanizado de desbaste
- Calentar lentamente durante el temple
- Utilizar la calidad de acero adecuada
- Enfriar la pieza tan lentamente como sea posible, pero lo suficientemente rápido a fin de obtener la microestructura correcta en el acero
- Realizar el revenido a una temperatura adecuada.

Los siguientes valores pueden utilizarse como guía para tolerancias de mecanizado:

| Calidad de acero       | Tolerancia de mecanizado sobre longitud y diámetro como % de la dimensión |
|------------------------|---|
| ARNE                   | 0,25 %  |
| RIGOR                  | 0,20 %  |
| SVERKER 21 y SVERKER 3 | 0,20 %  |
| CARMO                  | 0,20 %  |
| VANADIS 4              | 0,15 %  |
| VANADIS 10             | 0,15 %  |
| VANADIS 23             | 0,25 %  |
| CALMAX                 | 0,20 %  |
| GRANE                  | 0,15 %  |
| STAVAX ESR             | 0,15 %  |
| ELMAX                  | 0,15 %  |
| ORVAR 2 Microdized     | 0,20 %  |
| ORVAR SUPREME          | 0,20 %  |
| VIDAR SUPREME          | 0,20 %  |
| QRO 90 SUPREME         | 0,30 %  |

## Tratamiento de la superficie

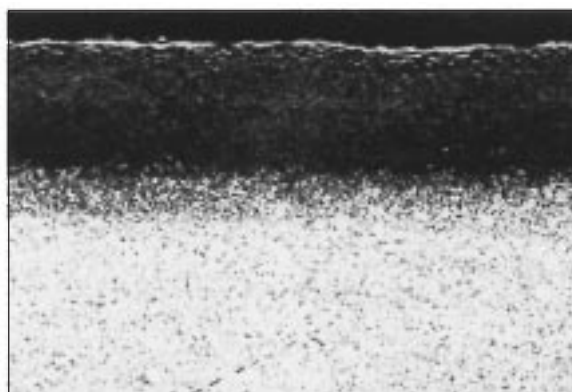
### NITRURACION

El propósito de la nitruración es aumentar la dureza de la superficie del acero y mejorar sus propiedades de desgaste. Este tratamiento tiene lugar en un medio (gas o sal) que desprende nitrógeno. En la nitruración, el nitrógeno se difunde dentro del acero y forma nitruros duros, resistentes al desgaste. Ello resulta en una capa superficial intermetálica con buenas propiedades de fricción y desgaste.

La nitruración se realiza en gas alrededor de 510°C y en sal o gas sobre los 570°C, o bien como nitruración iónica, normalmente a unos 500°C. El proceso requiere por tanto, aceros que sean resistentes al revenido a fin de que la resistencia del núcleo no se vea reducida.

### Ejemplos de aplicaciones

- En algunos casos se utiliza la nitruración en moldes de plástico pretemplados, a fin de prevenir la indentación o defectos de las líneas de partición. Debemos hacer constar que una superficie nitrurada no puede ser mecanizada con herramientas de corte, puede tan solo rectificarse con cierta dificultad. Una superficie nitrurada causará también problemas con la reparación mediante soldadura. Puede también tener la nitruración el efecto del estabilizado. Piezas difíciles de mecanizar pueden por tanto, conllevar alguna distorsión durante la nitruración debido a la liberación de tensiones residuales del mecanizado y en éstos casos, recomendamos un estabilizado entre el mecanizado de desbaste y el mecanizado de acabado.
- La vida útil de los utillajes de forja puede incrementarse mediante la nitruración. Aunque debe tenerse en cuenta, que el tratamiento puede favorecer un aumento de la posibilidad de roturas en los cantos agudos. Además, deberá darse un perfil redondeado al canto del área a nitrurar.
- Las matrices de extrusión de *ORVAR 2 M* pueden nitrurarse con ventajas – especialmente en el caso de aleaciones de aluminio. Algunas excepciones pueden ser perfiles con esquinas agudas y secciones finas de la matriz.



Capa nitrurada mostrada a una ampliación del 100x. *ORVAR 2 Microdized*.

### NITROCARBURACION

Un método extensamente conocido es la nitruración en baño de sales.

La temperatura es normalmente de 570°C. Debido a la aireación, el contenido de cianato del baño puede ser controlado de mejor forma y el efecto de la nitruración es muy bueno.

Puede obtenerse también el efecto de la nitrocarburation en atmósfera de gas a 570°C. Los resultados, después de éstos métodos, son comparables.

El tiempo total de nitruración debe variarse en función de las distintas formas y tamaños de los utillajes. En el caso de medidas grandes, el tiempo de calentamiento a la temperatura de nitruración especificada puede ser considerablemente mayor que en el caso de pequeños utillajes.

### NITRURACION IONICA

Se trata de una nueva tecnología en nitruración. El método puede resumirse en la siguiente forma:

La pieza que debe ser nitrurada se sitúa en una cámara de proceso llena con gas, principalmente nitrógeno. La pieza forma el cátodo y la pared de la cámara el ánodo de un circuito eléctrico. Cuando se crea el circuito el gas se ioniza y la pieza está sujeta a un bombardeo de iones. El gas sirve como medio de calentamiento y de nitruración.

Las ventajas de la nitruración iónica incluyen un proceso de baja temperatura y una capa en la superficie dura y tenaz. La profundidad de difusión es del mismo orden que la de la nitruración gaseosa.



Planta de nitruración iónica.

### CEMENTACION

En éste método el acero se calienta en un medio que desprende carbono (gas, sal o un componente carburizante seco). El carbono se difunde en la superficie del material y después del temple aporta una capa en la superficie con una mayor dureza y resistencia al desgaste. Este método es utilizado para aceros de construcción, pero generalmente no es recomendable en acero aleado para utillajes.

### RECUBRIMIENTO DE CROMO DURO

El recubrimiento de cromo duro puede mejorar la resistencia al desgaste y a la corrosión de un utillaje. Este proceso se realiza de forma electrolítica. El espesor del recubrimiento está normalmente entre 0,001 y 0,1 mm. Puede ser difícil obtener una capa uniforme en la superficie, especialmente en utillajes complejos puesto que las esquinas y los cantos

pueden recibir un mayor depósito que las superficies planas o los taladros. Si se daña la capa de cromo, en el acero expuesto puede aparecer la corrosión rápidamente.

Otra ventaja de la capa de cromo es que reduce en gran manera el coeficiente de fricción sobre la superficie. Durante el proceso de recubrimiento de cromo, la absorción del hidrógeno puede causar una capa superficial frágil. Este perjuicio puede eliminarse reviniendo inmediatamente después del recubrimiento a 180°C durante 4 horas.

### RECUBRIMIENTO DE LA SUPERFICIE

El recubrimiento de la superficie del acero para utillajes está convirtiéndose en algo cada vez más usual. No tan solo para aplicaciones de trabajo en frío sino también para moldes de plástico y utillajes de trabajo en caliente.

El recubrimiento duro consiste normalmente en nitruro de titanio y/o carburo de titanio. La muy alta dureza y la baja fricción aportan una superficie muy resistente al desgaste, minimizando el riesgo de adherencia.

A fin de poder utilizar éstas propiedades de forma óptima, debe seleccionarse un acero para utillajes de alta calidad o bien un acero PM fabricado pulvimetalúrgicamente, como sustrato. Los métodos más comunes de recubrimiento son:

- **Recubrimiento PVD**, realizado a 200–500°C (PVD = Deposición Física de Vapor).
- **Recubrimiento CVD**, realizado alrededor de los 1000°C (CVD = Deposición Química de Vapor).

Algunos requisitos son solicitados al acero para utillajes dependiendo del: método de recubrimiento, diseño del utillaje y tolerancias requeridas. El recubrimiento PVD se utiliza cuando existe una alta demanda en tolerancias. Al aplicar éste método debe utilizarse un acero para utillajes que cuente con alta resistencia al revenido y el recubrimiento de la superficie deberá realizarse como última operación, después del tratamiento térmico. Debe ser utilizado un acero con una temperatura de austenización de alrededor de 1000°C. Al utilizar el método CVD existe el riesgo de cambios dimensionales. No es recomendable éste método en utillajes en el que se requieran tolerancias estrechas.

El acero más adecuado para los métodos mencionados son: *VANADIS 4*, *VANADIS 10* y *VANADIS 23*. *VANADIS 23* para recubrimiento PVD y *VANADIS 4* y *VANADIS 10* para recubrimiento CVD.

El recubrimiento de superficie de moldes y matrices debe discutirse caso por caso, teniendo en cuenta la aplicación, método de recubrimiento y tolerancias requeridas.

# Prueba de las propiedades mecánicas

Cuando el acero es templado y revenido su resistencia se ve afectada, vamos a estudiar en detalle, cómo son medidas éstas propiedades.

## PRUEBA DE DUREZA

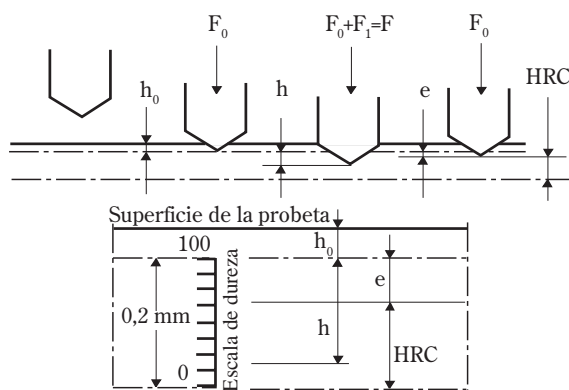
La prueba de dureza es el método más popular para medir los resultados de temple. La dureza es normalmente la propiedad que es especificada cuando se temple un utilaje.

Es fácil medir la dureza. El material no se destruye y el aparato de medición es relativamente económico. Los métodos más comunes son Rockwell C (HRC), Vickers (HV) y Brinell (HB).

No deberíamos olvidar del todo el conocido truco de la «lima». A fin de comprobar si la dureza es satisfactoria, por ejemplo superior a 60 HRC, una lima de calidad puede proporcionar una buena indicación.

### Rockwell (HRC)

En las pruebas de dureza Rockwell, un diamante cónico es presionado en primer lugar con una fuerza  $F_0$  y posteriormente con fuerza  $F_0 + F_1$  contra la probeta del material del cual deberá determinarse la dureza. Después de descargar hasta  $F_0$  el aumento (e) de la profundidad de impresión causado por  $F_1$  es determinado. La profundidad de penetración (e) se convierte en un número (HRC) que puede leerse directamente en una escala en el dial del durómetro.



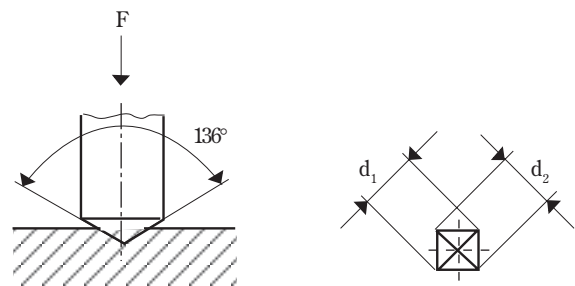
Principio de la prueba de dureza Rockwell.

### Vickers (HV)

En la prueba de dureza Vickers se utiliza un diamante en forma de pirámide con una base cuadrada y un ángulo de  $136^\circ$  es presionado bajo una carga  $F$  contra el material del que debe determinarse la dureza. Después de descargar, son medidas las diagonales de la impresión  $d_1$  y  $d_2$  y la cifra indicando la dureza (HV) se puede leer en la escala.

Cuando los resultados de dureza deben mencionarse, la dureza Vickers se indica con las letras HV y un sufijo que informa sobre la masa que ejerció la carga y (cuando sea necesario), el periodo de carga, tal como se ilustra en el ejemplo siguiente:

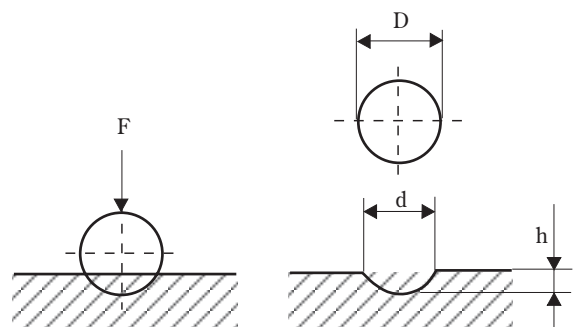
HV 30/20 = dureza Vickers determinada con una carga de 30 kft ejercida durante 20 segundos.



Principio de la prueba de dureza Vickers.

### Brinell (HB)

En la prueba de dureza Brinell se presiona una esfera contra el material del cual debe determinarse la dureza. Después de descargar, son tomadas dos medidas del diámetro de la impresión a  $90^\circ$  una de otra ( $d_1$  y  $d_2$ ) y se lee el valor HB realizando el promedio de  $d_1$  y  $d_2$ .



Principio de la prueba de dureza Brinell.

Al informar de los resultados, la dureza Brinell se indica con las letras HB y un sufijo indicando el diámetro de la esfera, la masa con la cual la carga fue ejercida y, si es necesario, el periodo de carga, como se ilustra en el ejemplo siguiente:

HB5/750/15 = dureza Brinell determinada con una esfera de 5 mm bajo una carga de 750 Kgf, ejercida durante 15 segundos.

### RESISTENCIA A LA TENSION

La resistencia a la tensión es determinada en una probeta que se encuentra sujeta en un aparato de prueba de tensión sujeta a un incremento de carga de tensión sucesivo hasta que ocurre la fractura: las propiedades que son registradas normalmente son: límite de elasticidad  $R_{p0,2}$  y última resistencia a la tensión  $R_m$ , mientras que el alargamiento  $A_5$  y reducción de área  $Z$ , son medidas directamente en la probeta. En general, puede afirmarse que la dureza depende del límite de elasticidad y de la última resistencia a la tensión, mientras que el alargamiento y reducción de área son indicadores de tenacidad. Altos valores de elasticidad y última resistencia a la tensión significan generalmente valores bajos de alargamiento y reducción de área.

Las pruebas de tensión se utilizan principalmente en aceros estructurales, pocas veces en aceros para utillajes. Es difícil realizar pruebas de tensión en durezas por encima de los 55 HRC. Las pruebas de tensión pueden ser de interés para tipos de acero para utillajes más tenaces, especialmente cuando se utilizan como materiales estructurales de alta resistencia. Estos incluyen por ejemplo, la calidad *IMPAX SUPREME* y *ORVAR 2 M*.

### PRUEBA DE IMPACTO

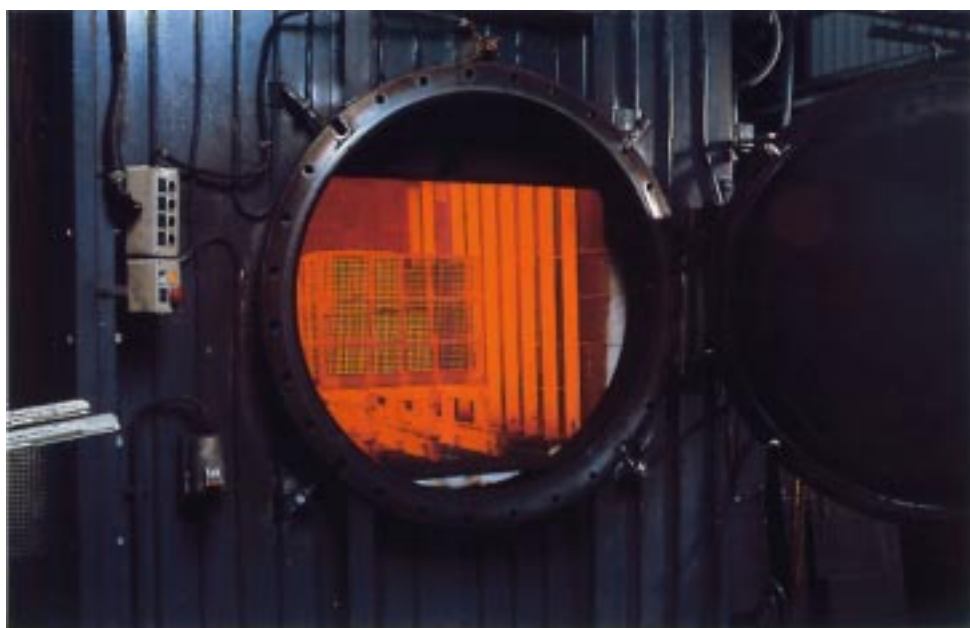
Una cierta cantidad de energía es necesaria para producir una fractura en el material. Esta cantidad de energía puede utilizarse como medida de tena-

cidad del material, una mayor absorción de energía, indica mejor tenacidad. El método más común, y a la vez más simple para determinar la tenacidad es la prueba de impacto. Se permite que un péndulo rígido caiga, a partir de un peso conocido y golpee una probeta en el punto más bajo de su oscilación. El ángulo por el cual viaja el péndulo una vez rota la probeta es medido, y la cantidad de energía que ha sido absorbida al romper la probeta puede ser calculada.

Pueden utilizarse distintas variantes en la prueba de impacto. Los distintos métodos difieren según la forma de las probetas. Estas están normalmente provistas de una muesca en forma de V ó U, por tanto, los métodos de prueba son conocidos por el nombre de Charpy V ó Charpy U respectivamente.

Para la mayoría, el acero para utillajes cuenta con una tenacidad relativamente baja debido a su alta resistencia. Materiales con baja tenacidad son sensibles a las muescas, razón por la cual las probetas sin muesca y lisas se utilizan a menudo en la prueba de impacto de acero para utillajes. Los resultados de las pruebas efectuadas se indican normalmente en Julios o alternativamente en Kgm (estrictamente hablando Kgf·m), si bien  $J/cm^2$  o  $Kgm/cm^2$  es utilizado en algunas ocasiones, especialmente en la prueba Charpy U.

Existen otras variantes de prueba de impacto que son utilizadas fuera de Suecia, por ejemplo la DVM, Mesanger y – especialmente en los países de habla Inglesa – la Izod.



# Algunos consejos para los diseñadores del utillaje

---

## ELECCION DEL ACERO

---

Seleccionar aceros de temple al aire para utillajes complejos.

---

## DISEÑO

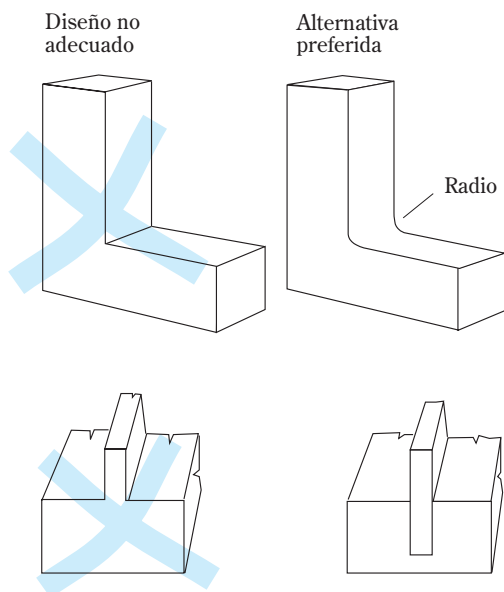
---

Evitar:

- esquinas agudas
- efectos de muescas
- grandes diferencias en el espesor de las secciones.

Estas son a menudo causas de fracturas de enfriamiento, especialmente si el material se enfría de forma demasiado rápida o si se permite que el material permanezca sin revenir.

Tout cela est souvent à l'origine de fissures de trempe, surtout si le refroidissement a été arrêté trop tard ou que l'outil n'a pas fait l'objet d'un revenu immédiat.



---

## TRATAMIENTO TERMICO

---

Debe seleccionarse la dureza adecuada para cada aplicación concreta. Sea especialmente cuidadoso a fin de evitar niveles de temperatura que puedan reducir la tenacidad después del revenido.

Mantenga siempre presente el riesgo de distorsión y siga las recomendaciones en lo que se refiere a las tolerancias de mecanizado.

Es una buena idea especificar la liberación de tensiones (estabilizado) en los diseños del utillaje.