

## XVII- ACEROS DE HERRAMIENTAS PARA TRABAJO EN FRÍO

Las normas SAE clasifican los aceros para herramientas y matrices en los siguientes grupos:

W: de temple en agua

S: resistentes al impacto

O, A, D: para trabajo en frío

H: para trabajo en caliente

T, M: rápidos

L: para propósitos especiales

En la Tabla XVII.1 se detallan las composiciones químicas.

Tabla XVII.1: Composiciones químicas de aceros para herramientas y matrices

| SAE Steel Designation                      | C         | Mn                     | Si                     | Cr                | V                 | W                 | Mo                | Co                |
|--|-----------|------------------------|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Water Hardening Tool Steels</b>         |           |                        |                        |                   |                   |                   |                   |                   |
| W108 <sup>b</sup>                          | 0.70-0.85 | — <sup>b</sup>         | — <sup>b</sup>         | — <sup>b</sup>    | —                 | —                 | —                 | —                 |
| W109 <sup>b</sup>                          | 0.85-0.95 | — <sup>b</sup>         | — <sup>b</sup>         | — <sup>b</sup>    | —                 | —                 | —                 | —                 |
| W110 <sup>b</sup>                          | 0.95-1.10 | — <sup>b</sup>         | — <sup>b</sup>         | — <sup>b</sup>    | —                 | —                 | —                 | —                 |
| W112 <sup>b</sup>                          | 1.10-1.30 | — <sup>b</sup>         | — <sup>b</sup>         | — <sup>b</sup>    | —                 | —                 | —                 | —                 |
| W209                                       | 0.85-0.95 | — <sup>b</sup>         | — <sup>b</sup>         | — <sup>b</sup>    | 0.15-0.35         | —                 | —                 | —                 |
| W210                                       | 0.95-1.10 | — <sup>b</sup>         | — <sup>b</sup>         | — <sup>b</sup>    | 0.15-0.35         | —                 | —                 | —                 |
| W310                                       | 0.95-1.10 | — <sup>b</sup>         | — <sup>b</sup>         | — <sup>b</sup>    | 0.35-0.50         | —                 | —                 | —                 |
| <b>Shock Resisting Tool Steels</b>         |           |                        |                        |                   |                   |                   |                   |                   |
| S1—Chromium-Tungsten                       | 0.45-0.55 | 0.20-0.40              | 0.25-0.45 <sup>c</sup> | 1.25-1.75         | 0.15-0.30         | 1.00-3.00         | 0.40 <sup>d</sup> | —                 |
| S2—Silicon-Molybdenum                      | 0.45-0.55 | 0.30-0.50              | 0.80-1.20              | —                 | 0.25 <sup>d</sup> | —                 | 0.40-0.60         | —                 |
| S5—Si con-Manganese                        | 0.50-0.60 | 0.60-0.90              | 1.80-2.20              | 0.30 <sup>d</sup> | 0.25 <sup>d</sup> | —                 | 0.30-0.50         | —                 |
| <b>Cold Work Tool Steels</b>               |           |                        |                        |                   |                   |                   |                   |                   |
| <b>Oil Hardening Types</b>                 |           |                        |                        |                   |                   |                   |                   |                   |
| O1—Low Manganese                           | 0.85-0.95 | 1.00-1.30              | 0.20-0.40              | 0.40-0.60         | 0.20 <sup>d</sup> | 0.40-0.60         | 0.30 <sup>d</sup> | —                 |
| O2—High Manganese                          | 0.85-0.95 | 1.40-1.80              | 0.20-0.40              | 0.35 <sup>d</sup> | 0.20 <sup>d</sup> | —                 | 0.20-0.30         | —                 |
| O6—Molybdenum Graphitic                    | 1.35-1.55 | 0.30-1.00              | 0.80-1.20              | —                 | —                 | —                 | —                 | —                 |
| <b>Medium Alloy Air Hardening Types</b>    |           |                        |                        |                   |                   |                   |                   |                   |
| A2—5% Chromium Air Hard                    | 0.95-1.05 | 0.45-0.75              | 0.20-0.40              | 4.75-5.50         | 0.40 <sup>d</sup> | —                 | 0.90-1.40         | —                 |
| <b>High Carbon-High Chromium Types</b>     |           |                        |                        |                   |                   |                   |                   |                   |
| D2—High Carbon-High Chromium (Air)         | 1.40-1.60 | 0.30-0.50              | 0.30-0.50              | 11.00-13.00       | 0.80 <sup>d</sup> | —                 | 0.70-1.20         | 0.60 <sup>d</sup> |
| D3—High Carbon-High Chromium (Oil)         | 2.00-2.35 | 0.24-0.45 <sup>c</sup> | 0.25-0.45              | 11.00-13.00       | 0.80 <sup>d</sup> | 0.75 <sup>d</sup> | 0.80 <sup>d</sup> | —                 |
| D5—High Carbon-High Chromium (Cobalt)      | 1.40-1.60 | 0.30-0.50              | 0.30-0.50              | 11.00-13.00       | 0.80 <sup>d</sup> | —                 | 0.70-1.20         | 2.50-3.50         |
| D7—High Carbon-High Chromium-High Vanadium | 2.15-2.50 | 0.30-0.50              | 0.30-0.50              | 11.50-13.50       | 3.80-4.40         | —                 | 0.70-1.20         | —                 |
| <b>Hot Work Tool Steels</b>                |           |                        |                        |                   |                   |                   |                   |                   |
| <b>Chromium Base Types</b>                 |           |                        |                        |                   |                   |                   |                   |                   |
| H11—Chromium-Molybdenum-V                  | 0.30-0.40 | 0.20-0.40              | 0.80-1.20              | 4.75-5.50         | 0.30-0.50         | —                 | 1.25-1.75         | —                 |
| H12—Chromium-Molybdenum-Tungsten           | 0.30-0.40 | 0.20-0.40              | 0.80-1.20              | 4.75-5.50         | 0.10-0.50         | 1.00-1.70         | 1.25-1.75         | —                 |
| H13—Chromium-Molybdenum-VV                 | 0.30-0.40 | 0.20-0.40              | 0.80-1.20              | 4.75-5.50         | 0.80-1.20         | —                 | 1.25-1.75         | —                 |
| <b>Tungsten Base Types</b>                 |           |                        |                        |                   |                   |                   |                   |                   |
| H21—Tungsten                               | 0.30-0.40 | 0.20-0.40              | 0.15-0.30              | 3.00-3.75         | 0.30-0.50         | 8.75-10.00        | —                 | —                 |
| <b>High Speed Tool Steels</b>              |           |                        |                        |                   |                   |                   |                   |                   |
| <b>Tungsten Base Types</b>                 |           |                        |                        |                   |                   |                   |                   |                   |
| T1—Tungsten 18-4-1                         | 0.65-0.75 | 0.20-0.40              | 0.20-0.40              | 3.75-4.50         | 0.90-1.30         | 17.25-18.75       | —                 | —                 |
| T2—Tungsten 18-4-2                         | 0.75-0.85 | 0.20-0.40              | 0.20-0.40              | 3.75-4.50         | 1.80-2.40         | 17.50-19.00       | 0.70-1.00         | —                 |
| T4—Cobalt-Tungsten 18-4-1-5                | 0.70-0.80 | 0.20-0.40              | 0.20-0.40              | 3.75-4.50         | 0.80-1.20         | 17.25-18.75       | 0.70-1.00         | 4.25-5.75         |
| T5—Cobalt-Tungsten 18-4-2-8                | 0.75-0.85 | 0.20-0.40              | 0.20-0.40              | 3.75-4.50         | 1.80-2.40         | 17.50-19.00       | 0.70-1.00         | 7.00-9.00         |
| T8—Cobalt-Tungsten 14-4-2-5                | 0.75-0.85 | 0.20-0.40              | 0.20-0.40              | 3.75-4.50         | 1.80-2.40         | 13.25-14.75       | 0.70-1.00         | 4.25-5.75         |
| <b>Molybdenum Base Types</b>               |           |                        |                        |                   |                   |                   |                   |                   |
| M1—Molybdenum 8-2-1                        | 0.75-0.85 | 0.20-0.40              | 0.20-0.40              | 3.75-4.50         | 0.90-1.30         | 1.15-1.85         | 7.75-9.25         | —                 |
| M2—Molybdenum-Tungsten 6-6-2               | 0.78-0.88 | 0.20-0.40              | 0.20-0.40              | 3.75-4.50         | 1.60-2.20         | 5.50-6.75         | 4.50-5.50         | —                 |
| M3—Molybdenum-Tungsten 6-6-3               | 1.00-1.25 | 0.20-0.40              | 0.20-0.40              | 3.75-4.50         | 2.25-3.25         | 5.50-6.75         | 4.75-6.25         | —                 |
| M4—Molybdenum-Tungsten 6-6-4               | 1.25-1.40 | 0.20-0.40              | 0.20-0.40              | 4.00-4.75         | 3.90-4.50         | 5.25-6.50         | 4.50-5.50         | —                 |
| <b>Special Purpose Tool Steels</b>         |           |                        |                        |                   |                   |                   |                   |                   |
| <b>Low Alloy Types</b>                     |           |                        |                        |                   |                   |                   |                   |                   |
| L6—Nickel-Chromium <sup>e</sup>            | 0.65-0.75 | 0.55-0.85 <sup>c</sup> | 0.20-0.40              | 0.65-0.85         | 0.25 <sup>d</sup> | —                 | 0.25 <sup>d</sup> | —                 |
| L7—Chromium                                | 0.95-1.05 | 0.25-0.45              | 0.20-0.40              | 1.25-1.75         | —                 | —                 | 0.30-0.50         | —                 |

### XVII.1. Aceros para trabajos en frío, de temple en aceite (O)

Los aceros de herramientas para trabajo en frío pueden utilizarse en diversos tipos de herramientas y matrices; los de temple en aceite son los más comunes, junto con los aceros al carbono y los aceros rápidos.

Entre sus propiedades se incluye:

- 1) baja deformación en el temple,
- 2) alta dureza de temple,
- 3) alta templabilidad desde bajas temperaturas de austenización,

- 4) libres de fisuras en zonas intrincadas después del temple,  
 5) mantienen el filo de corte por tiempo prolongado.

Sin embargo no poseen propiedades de dureza al rojo como los aceros rápidos, ni pueden usarse para trabajos en caliente

Las composiciones químicas nominales de los tipos más comunes son:

| Tipo AISI | %C   | %Mn  | %Si  | %Cr      | %V       | %W   | %Mo      |
|-----------|------|------|------|----------|----------|------|----------|
| <b>O1</b> | 0.95 | 1,20 | 0.25 | 0.50     | 0,20 (a) | 0,50 |          |
| <b>O2</b> | 0.95 | 1,60 | 0,25 | 0.20 (a) | 0,15 (a) |      | 0,30 (a) |
| <b>O7</b> | 1.20 | 0,25 | 0.25 | 0,60     | 0,20     | 1.60 | 0.25 (a) |

(a) elemento opcional

Pueden ser de base manganeso, como tipos O1y O2, y de base Cromo - Wolframio como el O7. Los primeros pueden endurecerse en el temple en aceite desde temperaturas de austenización relativamente bajas, debido a su contenido de Mn, lo que produce menor distorsión.

La habilidad para resistir el crecimiento del grano a las temperaturas del tratamiento térmico, es mayor en el O1 que en el O2 debido a la presencia de 0,5% de Cr y 0,5% de W, ya que, cuando las piezas son de gran tamaño suelen utilizarse altas temperaturas de austenizado.

El tipo O7, que contiene 1,6% de W, puede ser usado con el mismo propósito que los otros aceros de este grupo pero se lo prefiere cuando se necesita buen filo de borde cortante, ya que posee mayor resistencia al desgaste aunque una menor templabilidad y buena resistencia al aumento de grano por sobrecalentamiento.

### XVII.1.1. Tratamientos térmicos

En la Fig. XVII.1 los gráficos de temperatura vs. tiempo, muestran las secuencias de operaciones requeridas para producir aceros de herramientas: a) procesamiento termomecánico, y b) tratamiento de temple.

#### XVII.1.1.1. Recocido

Los tipos O1 y O2 requieren una menor temperatura de recocido que el O7; las piezas deben estar protegidas por carbón o atmósfera controlada para evitar el descarburo. El tiempo de calentamiento se recomienda en 1 hora por cada 25 mm de espesor y los tratamientos pueden ser de recocido total o isotérmico. Los valores de dureza que se obtienen dependen del recocido utilizado y su elección depende de la importancia de las operaciones posteriores. La Tabla XVII.2 muestra las condiciones recomendadas para los recocidos de los aceros tipo O.

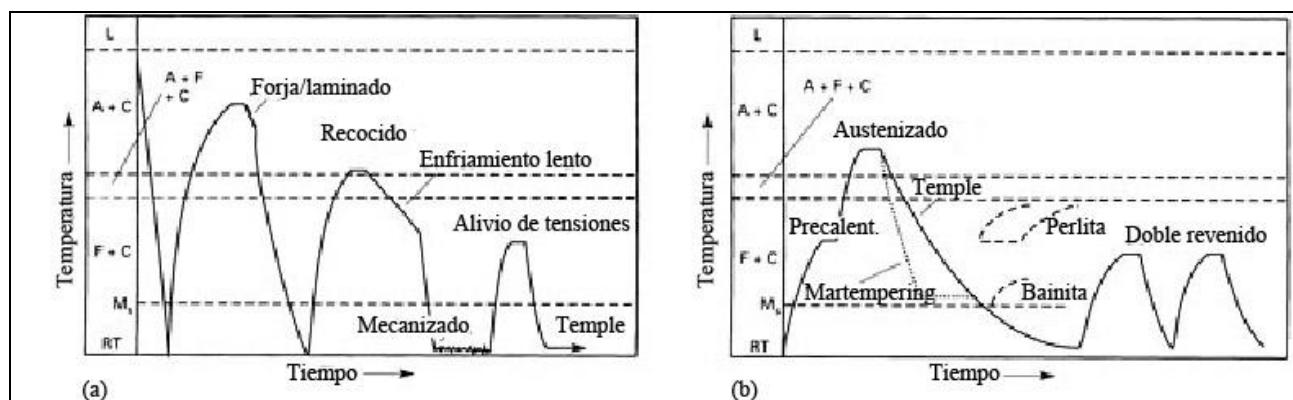


Fig. XVII.1: Gráficos de temperatura vs. tiempo mostrando las secuencias de operaciones requeridas para producir aceros de herramientas: a) procesamiento termomecánico, y b) tratamiento de temple. Donde L, es líquido; A, austenita; C, cementita; F, ferrita; Ms, temperatura a la cual la martensita comienza a formarse durante el enfriamiento; RT, temperatura ambiente.

En el recocido total la dureza lograda se encuentra entre HB 180-212, lo que facilita el maquinado debido a la estructura más globular, pero dificulta la homogeneización para el temple.

Tabla XVII.2: Recocidos de aceros de herramientas tipo O

## Recocido total

|    |  |
|----|--|
| O1 | Temperatura: 760-790° C  |
| O2 | Enfriar con una velocidad de 10° C/h                                 |
| O7 | Temperatura: 790-845° C<br>Enfriar con una velocidad de 10 a 20° C/h |

## Recocido isotérmico

|    |  |
|----|--|
| O1 | 1) Calentar a 730° C durante 4 hs.   |
| O2 | 2) Elevar a 785° C y mantener 2 hs.  |
| O7 | 3) Enfriar rápido a 690°C y mantener 2 hs; enfriar al aire a temperatura ambiente. |

**XVII.1.1.2. Temple**

Dado que el Mn disminuye la temperatura crítica de los aceros tipo O1 y O2, éstos pueden ser tratados a la máxima dureza mediante calentamientos tan bajos como se indica en la Tabla XVII.3.

Tabla XVII.3: Temple de aceros de herramientas tipo O

| Tipo | Temperatura de temple, °C      | HRc de temple | Rango de revenido °C | HRc en servicio |
|------|--------------------------------|---------------|----------------------|-----------------|
| O1   | 787-816                        | 61-64         | 150-250              | 57-62           |
| O2   | 760-816                        | 61-64         | 150-250              | 57-62           |
| O7   | 790-830 agua<br>845-885 aceite | 61-64         | 165-275              | 58-64           |

Es importante no calentar estos materiales por encima de la temperatura indicada para evitar el aumento del tamaño de grano y fisuras de temple.

Poseen mayor templabilidad que los aceros al carbono: el tiempo de comienzo de la transformación, en la nariz del diagrama de transformación isotérmica, es de 1 seg. en estos, y 10 seg. en los O. Luego del temple se caracterizan por la relativamente alta concentración de austenita retenida, que se incrementa con el aumento de la temperatura de austenización. En la Fig. XVII.2 se muestra el efecto de la temperatura de austenización sobre la dureza de temple; se puede observar que el O2, que contiene solamente Mn con pequeña cantidad de Mo, alcanza la máxima dureza de temple a temperaturas tan bajas como 760° C, mientras que los tipos con Cr ó Cr-W requieren llegar a los 845° C. El tipo O7 usualmente se templa en aceite, pero también puede hacerse en agua si el espesor es grande, a menos que la matriz tenga áreas intrincadas que puedan desarrollar fisuras.

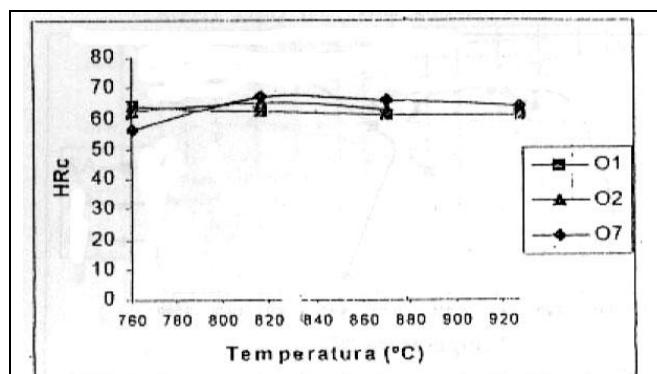


Fig. XVII.2: Efecto de la temperatura de austenización en la dureza de temple de aceros de temple en aceite.

Para el calentamiento se prefiere el uso de baños de sales neutras u hornos de atmósfera controlada, y, si no se dispone de estos equipos, se puede utilizar un horno semimufa protegiendo las piezas con carbón neutro o coque, como una alternativa aceptable. Es fundamental realizar un precalentamiento a 650-670° C para evitar fisuras.

Después de la austenización, las herramientas deberán templarse en aceite tibio a 80° C y revenirse en forma inmediata.

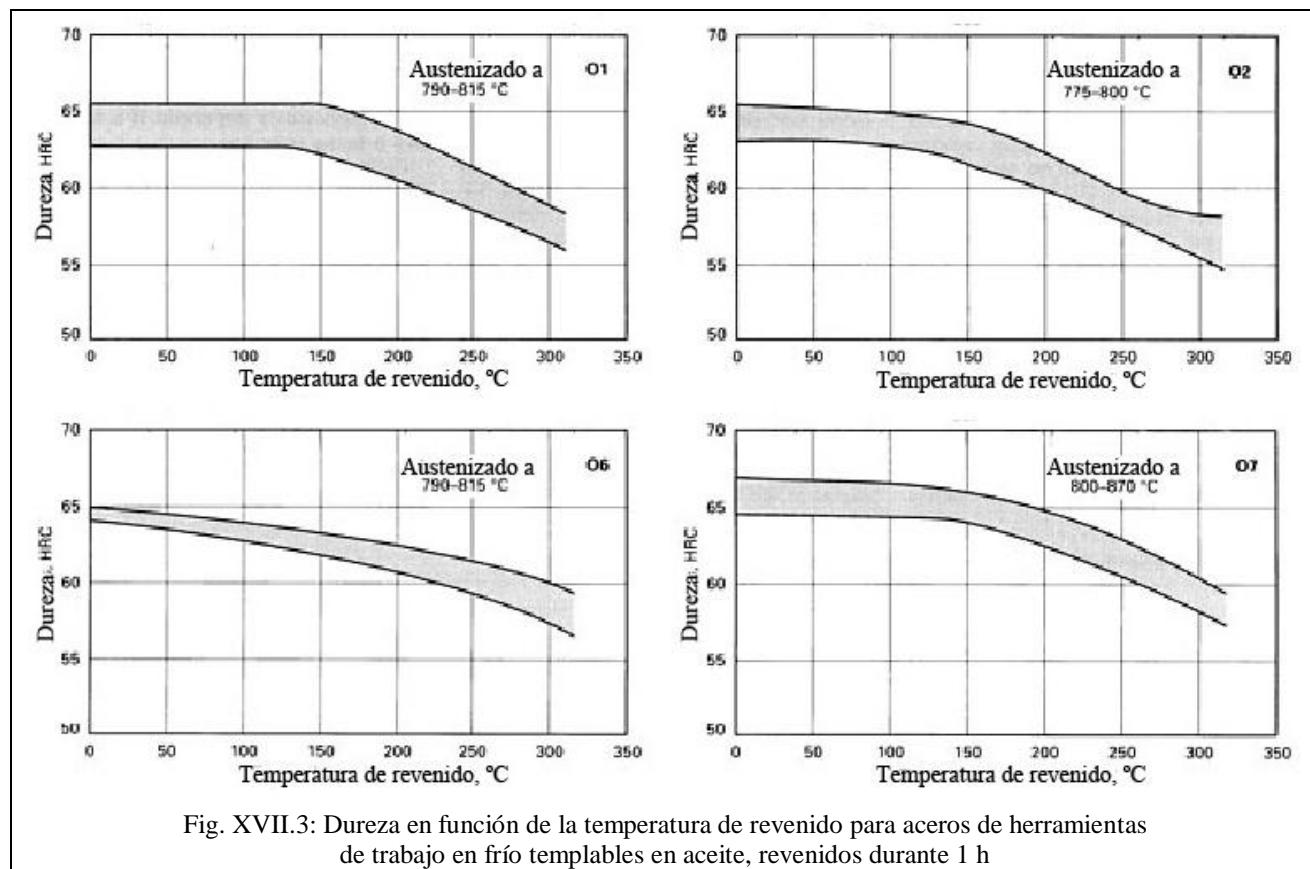


Fig. XVII.3: Dureza en función de la temperatura de revenido para aceros de herramientas de trabajo en frío templables en aceite, revenidos durante 1 h

### XVII.1.3. Revenido

En la Fig. XVII.3 se muestra la dureza en función de la temperatura de revenido para aceros de herramientas de trabajo en frío templables en aceite, revenidos durante 1 h. Los O1, O2 y O6 fueron austenizados a las temperaturas indicadas, y luego templados en aceite. Los aceros O7, de secciones uniformes y grandes, fueron austenizados entre 800 y 830° C y templados en agua, otras secciones se austenizaron entre 830 y 870° C y templaron en aceite.

Las temperaturas usuales de revenido son las indicadas en la Tabla XVII.2. Suele producirse una caída de tenacidad entre los 200-250° C. En el rango de dureza de trabajo usual, HRc 57-64, el tipo O1 es el más tenaz. Para durezas encima de HRc 61, los tipos O2 y O7 son casi equivalentes con respecto a la resistencia al impacto; para niveles inferiores a HRc 61, el O2 tiene menor tenacidad pero siempre inferior al O1.

### XVII.1.2. Selección y Aplicaciones

Dentro de esta calidad de aceros, es interesante incorporar otro tipo con cualidades algo diferentes, pero que integran el grupo de los indeformables. La composición nominal es:

| Tipo | %C   | %Mn  | %Mo  | %Si |
|------|------|------|------|-----|
| O6   | 1,45 | 0,60 | 0,25 | 1.0 |

Posee altos contenidos de C y Si para provocar la separación de grafito, tipo maleable mediante un recocido, y así comunicarle propiedades autolubricantes. Su primer tratamiento térmico es un recocido, con calentamiento a 800° C y enfriamiento a una velocidad de 10° C/hora; la dureza Brinell alcanzada es 183-217. El grafito debe obtenerse por tratamiento térmico y nunca ser grafito primario o laminar.

La operación de temple se realiza de modo similar a lo indicado para los otros tipos: enfriamiento en aceite y revenido inmediato. El resultado es baja resistencia al impacto pero excelente resistencia al desgaste y autolubricación.

El más popular de estos aceros es el tipo O1; puede ser endurecido desde una temperatura de

austenización relativamente baja, ya que tiene suficiente templabilidad para producir adecuada profundidad de endurecimiento, excepto en matrices muy grandes. No es sensible al crecimiento de grano, es el más tenaz de esta clase y muy disponible en el mercado.

Si se requiere un mínimo de cambio dimensional en el temple, puede elegirse el O2 por su baja temperatura de austenización, sin embargo, este acero es susceptible al crecimiento del grano por el sobrecalentamiento y requiere un mayor cuidado en el tratamiento térmico.

## XVII.2. Aceros de trabajo en frío de temple al aire (A)

Composición nominal:

| Tipo AISI | %C   | %Mn  | %Si  | %Cr  | %V   | %Mo  |
|-----------|------|------|------|------|------|------|
| <b>A2</b> | 1,00 | 0,60 | 0,25 | 5,00 | 0,25 | 1,00 |
| <b>A3</b> | 1,00 | 1,00 | 0,25 | 1,00 | -    | 1,00 |
| <b>A6</b> | 0,70 | 2,00 | 0,25 | 1,00 | -    | 1,35 |

Se pueden considerar intermedios en contenidos de aleantes entre los aceros tipo O y los aceros de alto carbono y alto cromo. Poseen alta templabilidad lo que los hace aptos para el temple al aire, y, por lo tanto, útiles para matrices intrincadas que deben mantener sus dimensiones después del temple y revenido, ya que su distorsión es aproximadamente igual a la del tipo O.

La resistencia al desgaste es intermedia entre los tipos de aceros al Mn y los de alto C y alto Cr, pero la tenacidad es mayor que cualquiera de ellos.

La mejor combinación de propiedades encontradas para estos aceros de temple al aire es que son especialmente adecuados para condiciones de abrasión media, con necesidades de alta tenacidad; por eso son ampliamente usados para matrices de formado, corte, punzonado, rolado y laminado de roscas

### XVII.2.1. Tratamientos térmicos

#### XVII.2.1.1. Recocido

Las temperaturas de austenización recomendadas para el recocido se encuentran entre 840 y 870° C, seguido de un enfriamiento lento (15 a 20° C por hora) hasta los 530° C, pudiéndose aumentar la velocidad de enfriamiento posteriormente. También pueden ser recocidos isotérmicamente enfriando desde la temperatura de austenización hasta 760° C, manteniendo durante 4 a 6 horas y luego enfriando al aire; este proceso tiene ventajas sobre el anterior por la homogeneidad de estructura y maquinabilidad lograda el requerimiento de un horno continuo lo vuelve más caro.

#### XVII.2.1.2. Temple

Para minimizar la distorsión en el temple, es adecuado realizar un distensionado a 650-700° C antes del maquinado final.

Estos aceros son susceptibles a una descarbonización ligeramente mayor que los tipos O, por lo tanto deberían calentarse en hornos de atmósfera controlada o bien, si no se dispone de éstos, proteger con un ligero exceso de combustible la atmósfera del horno semi-mufla.

Debe realizarse un precalentamiento a 780° C para eliminar el tiempo prolongado a la temperatura de austenización, con lo que se disminuye la descarbonización, y luego llevar a la temperatura de temple de 930° a 980° C; después de un periodo de mantenimiento se templa en aire, y la dureza alcanzada puede hallarse entre HRc 63-65.

El diagrama de transformación isotérmica se muestra en la Fig. XVII.4. Se puede observar que entre los 760-590° C, se produce una reacción dependiente del tiempo que forma un constituyente en los bordes de grano de austenita, que se manifiesta oscuro al ataque. Cuando esta reacción se completa, la estructura es esferoidal y tiene una dureza de HRc 20 -25.

La austenita es muy estable entre los 370 y 590° C. La reacción bainítica, entre 370 y 180° C, no se completa hasta las 20 hs. El punto Ms se encuentra a 165° C y la martensita se forma a medida que disminuye la temperatura. La curva se traslada hacia la izquierda y el punto Mf se eleva cuando se utilizan temperaturas de austenización más bajas.

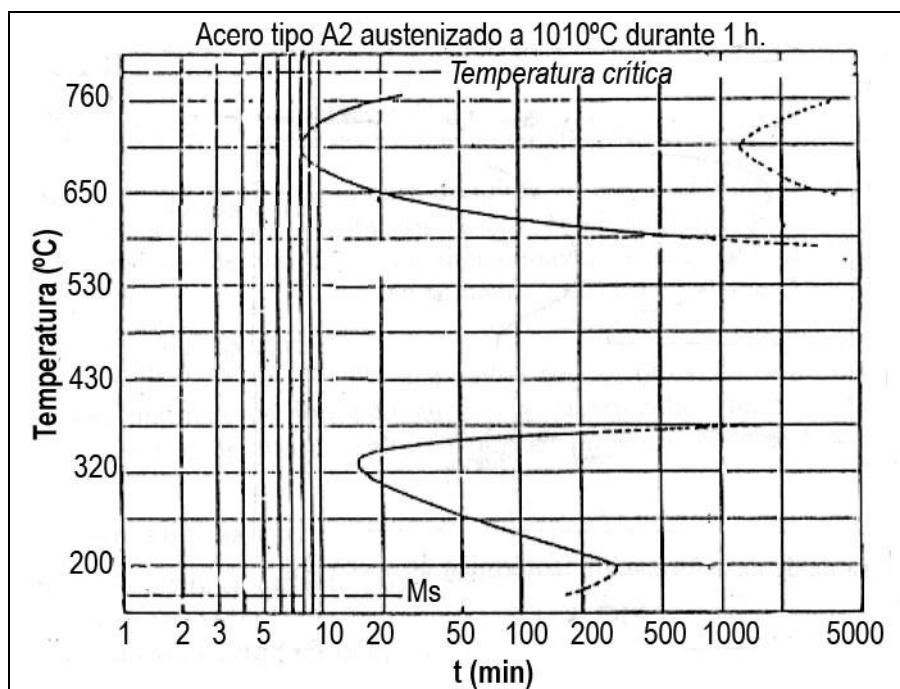


Fig. XVII.4: Diagrama de transformación isotérmica del acero de herramientas A2

En la Fig. XVII.5 se muestra el efecto de la temperatura de austenización en la dureza de temple para el endurecimiento al aire del A2. Se puede notar que la máxima dureza se obtiene a  $965^{\circ}\text{C}$ ; para temperaturas mayores la caída se debe a la austenita retenida. Para aceros A5 y A6, la temperatura es menor.

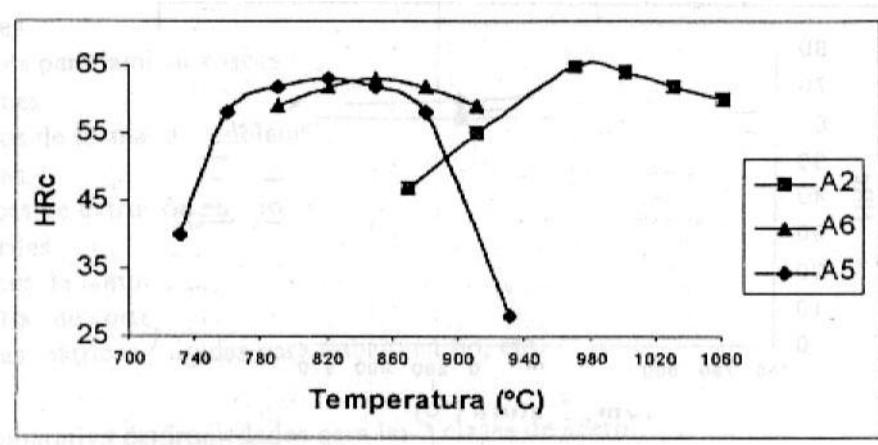


Fig. XVII.5: Influencia de la temperatura de austenización sobre la dureza de temple en aceros de temple al aire.

### XVII.2.1.3. Revenido

Estos aceros para matrices para trabajo en frío pueden revenirse entre  $150$  y  $565^{\circ}\text{C}$  dependiendo de la dureza de trabajo deseada. En la Fig. XVII.6 se muestran los gráficos de dureza en función de la temperatura de revenido para aceros A2 en tres condiciones: templado, templado seguido de enfriamiento subcero a  $-80^{\circ}\text{C}$ , y templado seguido de enfriamiento subcero a  $-180^{\circ}\text{C}$ , para temperaturas de austenización de  $950^{\circ}\text{C}$ ,  $1000^{\circ}\text{C}$ ,  $1050^{\circ}\text{C}$  y  $1100^{\circ}\text{C}$ .

De acuerdo a los ensayos de impacto, estos aceros muestran dos picos de tenacidad a temperaturas de revenido de  $200^{\circ}\text{C}$  y  $400^{\circ}\text{C}$ . Las depresiones entre ambos son causadas por la transformación de la austenita, relativamente inestable, que durante el enfriamiento cambia a martensita o bainita con ligero incremento de la dureza, especialmente cuando la matriz ha sido templada a elevada temperatura de austenización. La Fig. XVII.7 muestra el comportamiento de la resistencia al impacto según la temperatura de revenido.

Cuando se trata de obtener la máxima resistencia al desgaste, lo mejor será revenir a  $200^{\circ}\text{C}$ , y cuando la resistencia al impacto (tenacidad) es lo determinante, puede aceptarse una menor dureza, realizando en revenido entre  $370^{\circ}$ -  $400^{\circ}\text{C}$ .

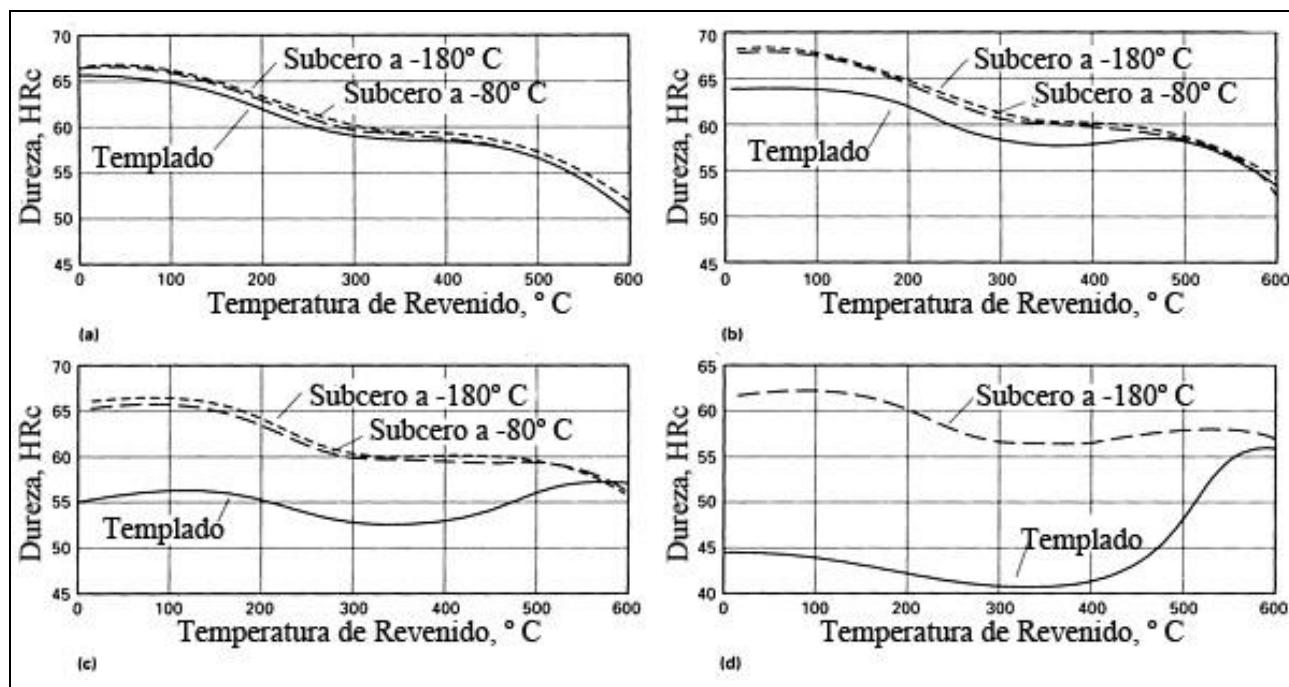


Fig. XVII.6: Gráficos de dureza vs. temperatura de revenido para aceros A2 en condición templado, templado seguido de subcero a  $-80^{\circ}\text{C}$ , y templado seguido de subcero a  $-180^{\circ}\text{C}$ , para temperaturas de austenización crecientes: (a)  $950^{\circ}\text{C}$ . (b)  $1000^{\circ}\text{C}$ . (c)  $1050^{\circ}\text{C}$ . (d)  $1100^{\circ}\text{C}$ .

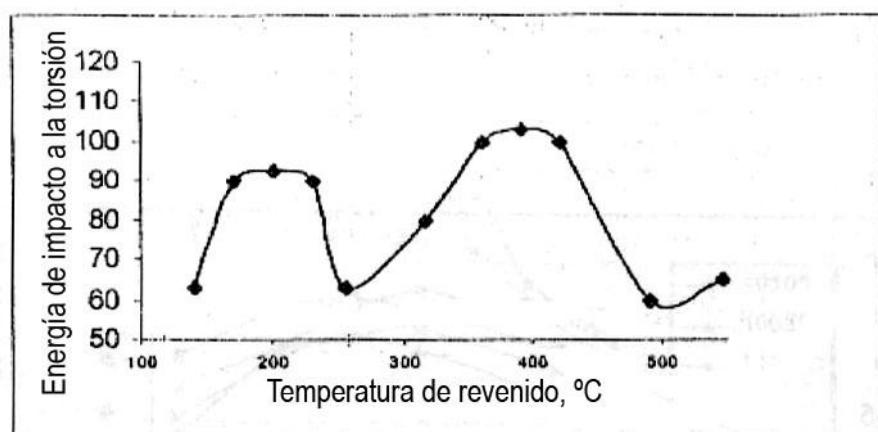


Fig. XVII.7: Energía de impacto medida en función de la temperatura de revenido.

### XVII.3. Aceros para trabajo en frío de alto carbono y alto cromo (D)

Composición nominal:

| Tipo AISI | %C   | %Mn  | %Si  | %Cr  | %Ni  | %V   | %Mo  | %Co  |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>D2</b> | 1,50 | 0,30 | 0,25 | 12,0 |      | 0,60 | 0,80 |      |
| <b>D4</b> | 2,20 | 0,30 | 0,25 | 12,0 |      | 0,50 | 0,80 |      |
| <b>D3</b> | 2,20 | 0,30 | 0,25 | 12,0 | 0,50 | 0,60 |      |      |
| <b>D5</b> | 1,50 | 0,30 | 0,50 | 12,5 | 0,35 | 0,50 | 1,00 | 2,00 |
| <b>D1</b> | 1,00 | 0,30 | 0,25 | 12,0 |      | 0,60 | 0,80 |      |

Estos aceros fueron originariamente desarrollados para sustituir a los aceros rápidos para herramientas de corte, pero mostraron insuficiente dureza en caliente y probaron ser muy frágiles para estos

propósitos. Cuando solidifican, sus granos son fuertemente segregados, con menor contenido de Cr y C en el centro que en las porciones periféricas, y rodeando cada grano se encuentra un eutéctico de austenita y carburo. Un correcto forjado de estos aceros resultará en una distribución más homogénea de los constituyentes duros.

En general, los aceros de alto C y alto Cr se clasifican en los que son esencialmente templados en aceite y los prioritariamente templados al aire.

### XVII.3.1.1. Recocido

Para disminuir la dureza y mejorar la maquinabilidad se recomiendan calentar a 870-900° C y enfriar a una velocidad que no exceda de 25° C/hora hasta los 510° C. Si se desea una menor dureza, puede enfriarse lentamente desde 870-900° C hasta los 540° C, luego recalentar a 740° C y enfriar lentamente hasta temperatura ambiente.

Para asegurar el mínimo de distorsión en el temple, se aconseja un distensionado a 640-700° C después del maquinado grueso y antes del maquinado final.

### XVII.3.1.2. Temple

Para lograr los beneficios de los bajos cambios dimensionales propios de estos aceros es esencial calentarlos lentamente hasta la temperatura de austenización. Los hornos preferidos son de atmósfera controlada y baños de sales; los hornos abiertos obligan a tratar las piezas en cajas que protejan de la descarburación usando coque, virutas de fundición, carbón neutro, etc.

El tipo D3 es esencialmente un acero de temple en aceite, ya que en secciones medianas y grandes no desarrolla la dureza total por el enfriamiento al aire, porque la austenita se transforma parcialmente en perlita fina.

En los tipos D2, D4, D5 y D1 la adición de 0,80% de Mo suprime la formación de perlita a elevada temperatura y permite alcanzar la dureza total, HRC 62-64, con el enfriamiento al aire desde 1010° C.

El efecto de la temperatura de austenización en la dureza de temple se muestra en la Fig. XVII.8. Los tipos de bajo carbono requieren mayor temperatura de austenización para alcanzar la máxima dureza que las de mayor % de C.

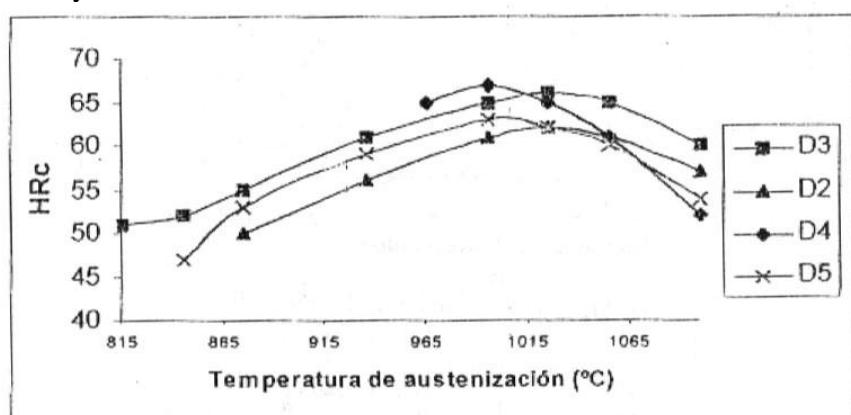


Fig. XVII.8: Dureza de temple obtenida para diferentes temperaturas de austenización.

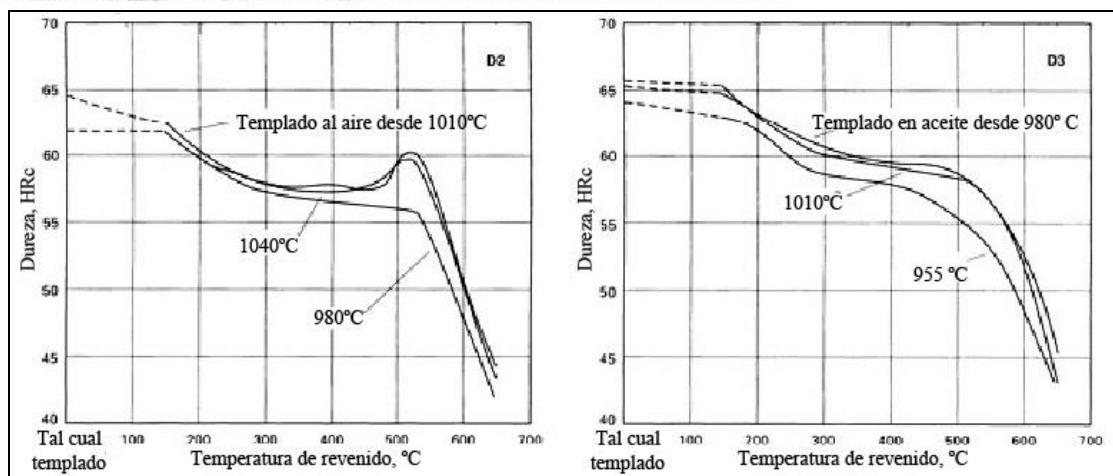


Fig. XVII.9: Relación entre la temperatura de revenido y la dureza para aceros de herramientas D2 y D3. Austenización en horno de aire, y revenido en horno pit con recirculación.

### XVII.3.1.3. Revenido:

En la Fig. XVII.9 se muestra el efecto del revenido en la dureza de estos aceros, para distintas temperaturas de austenización.

### XVII.3.2. Aplicaciones

Los aceros de alto C y alto Cr pueden dividirse en tres subgrupos de acuerdo al contenido de C. Aquellos que contienen el menor % de C como el D1, tienen la menor resistencia al desgaste y mayor tenacidad. Los que tienen mayor % de C, como D4 y D3 tienen la mayor resistencia al desgaste pero la menor tenacidad y los tipos D2 y D5 son intermedios en estas propiedades.

El tipo D2 es el acero más popular y disponible; es ampliamente utilizado en matrices de conformado en frío y punzonado. Herramientas adecuadamente diseñadas de aceros de alto C y alto Cr pueden punzonar chapas de acero de 64 mm de espesor.

Las aplicaciones típicas son:

- Matrices de corte en caliente para forjado.
- Matrices de acuñado
- Matrices de embutido profundo
- Calibres
- Matrices para laminar roscas
- Punzones
- Rodillos de formado y doblado.
- Brochas
- Matrices de extrusión en frío
- Mandriles
- Matrices de laminación
- Cuchillas de corte
- Muchas matrices exigidas para trabajo en frío, etc

**Anexo 1: Tabla comparativa de propiedades para las tres clases de aceros para herramientas de trabajo en frío**

| Propiedad                    | Nivel         |            |          |
|------------------------------|---------------|------------|----------|
|                              | Mejor (mayor) | Intermedio | Menor    |
| Templabilidad                | <b>D</b>      | <b>A</b>   | <b>O</b> |
| Resistencia a la deformación | <b>D</b>      | <b>A</b>   | <b>O</b> |
| Tenacidad                    | <b>A</b>      | <b>D</b>   | <b>O</b> |
| Maquinabilidad               | <b>O</b>      | <b>A</b>   | <b>D</b> |
| Resistencia al desgaste      | <b>D</b>      | <b>A</b>   | <b>O</b> |
| Costo                        | <b>D</b>      | <b>A</b>   | <b>O</b> |

**Anexo 2: Observación metalográfica de aceros de herramientas;  
permite reconocer estructuras correctas y defectos.**

El material es acero rápido templado y revenido, excepto la fila inferior que muestra el tamaño de grano austenítico.

La uniformidad en la distribución de carburos depende del tamaño de la sección, en estas muestras el diámetro es 25 mm.

