

**Raex**<sup>®</sup> ABRASION  
RESISTANT STEEL

# SOLDADURA Y CORTE TÉRMICO



# CUBRIMOS SUS NECESIDADES DE DESGASTE

El acero resistente a la abrasión, Raex, está diseñado para estructuras de acero expuestas a desgaste abrasivo. Las propiedades de resistencia al desgaste de Raex alargan significativamente la vida útil de los equipos, con el consiguiente ahorro de tiempo y dinero.

Raex amplía la vida útil de las estructuras de acero gracias a la reducción del peso en comparación con el acero al carbono blando. La ligereza de los componentes aumentala capacidad de carga, lo que ahorra combustible y reduce las emisiones al necesitar menos camiones en servicio.

# INTRODUCCIÓN

Raex es un acero resistente a la abrasión que presenta una dureza elevada y buenas propiedades para el trabajo en taller. La tecnología moderna de producción facilita alcanzar una calidad fiable y una protección económica contra los diferentes tipos de entornos de desgaste. Los aceros Raex están disponibles como placas pesadas y chapas con longitudes cortadas a medida, con un intervalo de dureza de 300 – 500 HB. Es fácil trabajar con Raex en el taller gracias a sus buenas propiedades para el corte, la soldadura y el doblado. También aumenta la vida útil de la maquinaria y permite crear diseños de productos ligeros que mejoran el consumo energético.

## APLICACIONES PARA ACEROS RAEX RESISTENTES A LA ABRASIÓN

- Trituradoras, cazos y segmentos de refuerzo
- Plataformas y estructuras base
- Maquinaria de manipulación de materiales y desechos, tanques y transportadores
- Silos, tolvas, cribas y hormigoneras
- Contenedores especiales
- Piezas de desgaste y hojas de cuchillas

La resistencia al desgaste de los aceros Raex se basa en la aleación del acero y en el estado endurecido de la entrega. El alto contenido de aleación, la dureza y la resistencia tienen como consecuencia que la soldadura y el corte térmico de los aceros resistentes a la abrasión sean más complejos que el tratamiento del acero estructural normal.

La soldadura de los aceros resistentes a la abrasión tiene dos objetivos principales. En primer lugar, debe prevenirse por adelantado el agrietamiento en frío. Este requisito es especialmente importante al soldar chapas gruesas. En segundo lugar, las propiedades mecánicas de las uniones soldadas deben ser óptimas. Además de estos dos objetivos sobre el metal de base, las operaciones complejas de soldadura deben satisfacer necesidades específicas de trabajo, como el nivel de calidad. Entre las cosas que se deben evitar en el corte térmico están las grietas en el corte superficial y el ablandamiento excesivo de la zona de corte.

Este folleto técnico proporciona instrucciones prácticas de soldadura para las calidades Raex 400, Raex 450 y Raex 500 y especifica las características especiales en relación con el corte térmico. Los factores clave de la soldadura son la temperatura de trabajo y el aporte de calor correctos, así como una preparación cuidadosa. Las superficies de ranuras que se van a soldar tienen que estar secas y limpias. El contenido de hidrógeno disuelto en el metal de soldadura debe mantenerse especialmente bajo ya que se trata de un acero de ultra-alta resistencia. El bajo contenido de hidrógeno se logra con los parámetros correctos de soldadura y mediante el uso de consumibles de soldadura apropiados. La ficha de datos proporciona recomendaciones acerca de los consumibles de soldadura para soldadura por arco protegido con gas, soldadura por arco metálico manual y soldadura por arco sumergido. Todas las fases de la soldadura y el corte térmico, desde el diseño hasta el acabado, deben realizarse con cuidado para lograr el mejor resultado posible.



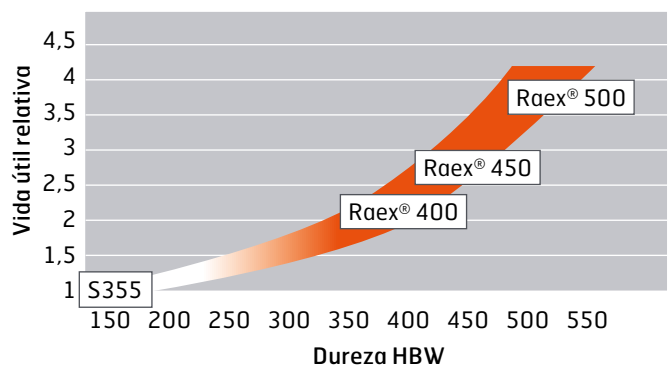
INTRODUCCIÓN	3
1 CALIDADES DE ACERO RESISTENTES A LA ABRASIÓN	4
2 SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS RESISTENTES A LA ABRASIÓN	5
2.1 Susceptibilidad al agrietamiento en frío	5
2.1.1 Localización de grietas en frío	5
2.1.2 Factores que provocan el agrietamiento en frío	5
2.1.2.1 Microestructura de una junta soldada	5
2.1.2.2 Contenido crítico de hidrógeno de una junta soldada	6
2.1.2.3 Resistencia y nivel de tensiones de una junta soldada	6
2.1.2.4 Efecto combinado de tres factores	6
2.2 Propiedades óptimas de una junta soldada	6
3 PARÁMETROS DE SOLDADURA Y EFECTO EN LAS PROPIEDADES DE UNA JUNTA SOLDADA	7
3.1 Parámetros de soldadura más importantes	7
3.2 Efecto de los parámetros de soldadura en las propiedades de una junta soldada	7
4 CONSUMIBLES PARA LA SOLDADURA	8
4.1 Consumibles de soldadura de baja resistencia («undermatching», blandos)	8
4.2 Consumibles para la soldadura de acero inoxidable austenítico	8
5 PREVENCIÓN DEL AGRIETAMIENTO EN FRÍO	10
5.1 Control del endurecimiento de la microestructura de una junta soldada	10
5.2 Control del contenido de hidrógeno	10
5.3 Alivio de tensiones residuales en una junta soldada	10
5.4 Consejos prácticos para la soldadura	10
5.5 Soldadura a la temperatura de trabajo correcta	10
6 CÓMO OBTENER LA COMBINACIÓN ÓPTIMA DE PROPIEDADES EN LAS JUNTAS SOLDADAS	12
6.1 Parámetros recomendados de soldadura	12
6.2 Zona blanda en juntas soldadas	12
7 TRATAMIENTO TÉRMICO	13
8 COMPORTAMIENTO DEL ACERO DURANTE EL CORTE TÉRMICO	14
8.1 Procedimiento de corte térmico	14
8.2 Control de la dureza de la superficie mediante el aumento de la temperatura de trabajo	14
8.3 Prevención del reblandecimiento durante el corte térmico	14
8.4 Consejos prácticos para el corte térmico	14

# 1 CALIDADES DE ACERO RESISTENTES A LA ABRASIÓN

El acero resistente a la abrasión Raex está diseñado para estructuras de acero expuestas a desgaste abrasivo. Las propiedades de resistencia al desgaste de Raex alargan significativamente la vida útil de los equipos, con el consiguiente ahorro de tiempo y dinero. La gama incluye las calidades de acero Raex 300, Raex 400, Raex 450 y Raex 500. La dureza media de los aceros es 300/400/450/500 HBW, respectivamente; véase la figura 1.

La resistencia del acero contra el desgaste abrasivo general mejora a medida que aumenta la dureza. La Figura 1 muestra la vida útil relativa de los aceros Raex 400, Raex 450 y Raex 500 en un ensayo de abrasión. No obstante, debe recordarse que el material de desgaste siempre depende de las circunstancias y varía según diversos motivos.

**FIGURA 1. RAEX 400, RAEX 450 Y RAEX 500. ENSAYO DE ABRASIÓN.**



La vida útil relativa aumenta a medida que sube la dureza del acero. La vida útil de un acero de construcción S355 estándar considera el valor de referencia con un valor igual a 1.

# 2 SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS RESISTENTES A LA ABRASIÓN

La alta resistencia y dureza de los aceros resistentes a la abrasión se obtiene mediante elementos de aleación y templado. Se logra una correcta capacidad de endurecimiento mediante la aleación adecuada. Debido al alto contenido de aleación, la soldadura de aceros resistentes a la abrasión es más compleja que la soldadura del acero estructural normal. La soldadura de los aceros resistentes a la abrasión, se debe prestar atención a dos objetivos:

- Prevención del agrietamiento en frío en las juntas soldadas.
- Cómo obtener propiedades óptimas en una junta soldada.

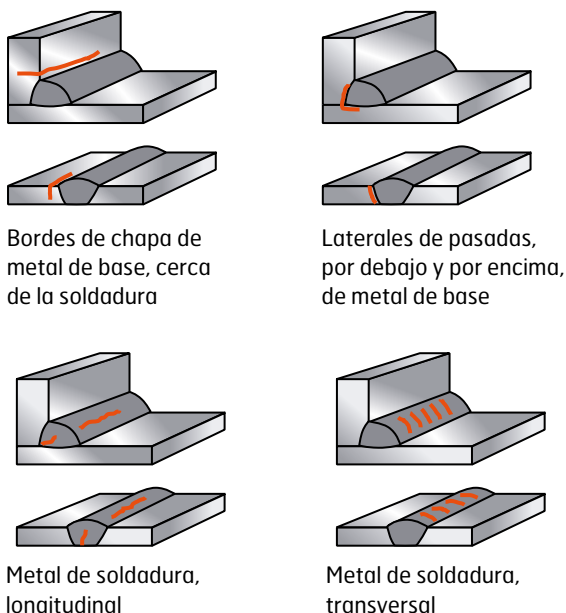
## 2.1 SUSCEPTIBILIDAD AL AGRIETAMIENTO EN FRÍO

El factor más común que perjudica la soldabilidad de los aceros resistentes a la abrasión es el agrietamiento en frío. Las grietas en frío se forman normalmente cuando la soldadura se enfría hasta +150 °C o menos, de allí el nombre de «grietas en frío». El agrietamiento en frío también se conoce como agrietamiento de hidrógeno o agrietamiento retardado. El efecto perjudicial del hidrógeno puede manifestarse como agrietamiento solo después de varios días de la soldadura. Al planear un ensayo no destructivo de la estructura soldada se debe tener en cuenta el plazo retardado de la generación de grietas en frío.

### 2.1.1 Localización de grietas en frío

La Figura 2 muestra las zonas críticas donde aparece el agrietamiento en frío en el metal de soldadura, la línea de fusión y la zona afectada por el calor.

**FIGURA 2. LUGARES SUSCEPTIBLES AL AGRIETAMIENTO EN FRÍO EN LAS JUNTAS SOLDADAS DE ACEROS DE RESISTENTES A LA ABRASIÓN DE ALTA RESISTENCIA.**



### 2.1.2 Factores que provocan el agrietamiento en frío

El agrietamiento en frío es un efecto perjudicial combinado de tres factores simultáneos. Estos factores son, como se muestra en la figura 3, 1) la microestructura de la junta soldada, 2) el contenido de hidrógeno de la junta soldada, y 3) el nivel de tensiones en la junta soldada.

#### 2.1.2.1 Microestructura de una junta soldada

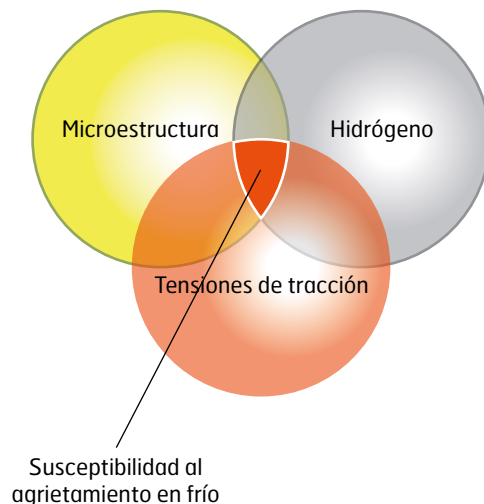
La buena resistencia al desgaste se basa en una microestructura martensítica en el metal de base y el metal de soldadura, al igual que en la zona afectada por el calor de una junta soldada. Si la junta se enfría demasiado rápido, la martensita puede endurecerse y tener poca tenacidad. Una microestructura de ese tipo es susceptible al agrietamiento. La capacidad de endurecimiento del acero y el metal de soldadura se representa con fórmulas de contenido equivalente de carbono que se basan en elementos de aleación. Las fórmulas «CEV» y «CET» utilizadas en este documento se utilizan con frecuencia para los aceros resistentes a la abrasión. También se emplea la abreviación «CE» para este CEV.

Las fórmulas de contenido equivalentes de carbono utilizadas para representar la capacidad de endurecimiento del acero y del metal de soldadura.

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Mo + Cr + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15}$$

$$CET = C + \frac{(Mn + Mo)}{10} + \frac{(Cr + Cu)}{20} + \frac{Ni}{40}$$

**FIGURA 3. LA SUSCEPTIBILIDAD AL AGRIETAMIENTO EN FRÍO DE UNA JUNTA SOLDADA ES EL EFECTO NOCIVO COMBINADO DE TRES FACTORES.**





Cuanto mayor sea el contenido equivalente de carbono, o la capacidad de endurecimiento, más dura será la microestructura.

#### 2.1.2.2 Contenido crítico de hidrógeno de una junta soldada

El hidrógeno es un gas muy ligero que se disuelve en acero en forma de átomos y moléculas. Cuando se fabrica una chapa de acero, ya contiene pequeñas cantidades de hidrógeno. El proceso de fabricación de aceros Raex es tal que el contenido natural de hidrógeno de las chapas de acero sigue siendo pequeño, de forma que la seguridad se ve potenciada. Por lo tanto, para la soldadura, el hidrógeno que predispone el acero al agrietamiento en frío trata de penetrar la junta desde fuera de la chapa de acero.

El contenido crítico de hidrógeno no es una constante específica; su valor se ve afectado especialmente por la microestructura del acero. En la microestructura del acero resistente al desgaste están presentes las fases martensita, ferrita y austenita, en función de la temperatura y el estado del tratamiento. Solo se disuelven cantidades muy pequeñas de hidrógeno en las microestructuras martensítica y ferrítica, a diferencia de las microestructuras austeníticas que pueden soportar considerablemente más cantidad.

Durante la soldadura, la mayoría del gas de hidrógeno se disuelve en el acero a altas temperaturas en las que la microestructura del acero es austenítica. Cuando se enfría la junta soldada, la microestructura del acero se convierte en martensítica o ferrítica. En estas microestructuras solo se disuelve una pequeña cantidad de hidrógeno, y el espacio de seguridad - necesario para la ubicación física de los átomos de hidrógeno - es limitado. Por lo tanto, los átomos de hidrógeno que se ven atrapados en la microestructura de las juntas soldadas pueden provocar tensiones internas locales y formar grietas, lo que se conoce como agrietamiento en frío.

#### 2.1.2.3 Resistencia y nivel de tensiones de una junta soldada

La soldadura y otro tipo de tratamientos de chapas producen tensiones en la junta. La resistencia y las tensiones residuales de una junta soldada vienen determi-

nadas principalmente por la resistencia del metal de soldadura. Las tensiones residuales dependen de la resistencia del metal de relleno y la rigidez de la estructura y el grosor de la chapa de acero. En el punto máximo, las tensiones de la junta soldada equivalen al límite de fluencia del acero. Las tensiones altas aumentan la susceptibilidad al agrietamiento en frío.

#### 2.1.2.4 Efecto combinado de tres factores

La microestructura, el contenido de hidrógeno y las tensiones de tracción de una junta soldada son interdependientes para la aparición del agrietamiento en frío. Por ejemplo, si el nivel de tensiones de tracción de una junta aumenta con el mismo procedimiento de soldadura, el contenido inferior de hidrógeno da lugar al agrietamiento en frío. Del mismo modo, una mayor resistencia y una microestructura más frágil son propensas a la formación de grietas con contenidos más bajos de hidrógeno. En la lucha contra el agrietamiento en frío, debe preverse el efecto combinado de estos tres factores, y la soldadura debe preverse en consecuencia.

## 2.2 PROPIEDADES ÓPTIMAS DE UNA JUNTA SOLDADA

Las propiedades requeridas de los aceros resistentes a la abrasión no son tan amplias como las establecidas para los aceros estructurales. Lo mismo aplica para las juntas soldadas y las estructuras hechas de aceros resistentes a la abrasión. A pesar de ello, para la planificación de la soldadura de aceros resistentes a la abrasión se debe evaluar la junta en relación con las propiedades de la tabla 1.

Para el diseño de estructuras resistentes al desgaste, deben colocarse las soldaduras, en la medida de lo posible, en lugares que no se ven sometidos a las cargas más pesadas. Si se requiere una resistencia al desgaste, especialmente buena para una junta soldada, se deben usar consumibles para la soldadura de alta resistencia con elementos de aleación adecuados. En las estructuras que requieren valores determinados de tenacidad en las juntas soldadas, se pueden conseguir valores equivalentes a los de los metales de base con consumibles de soldadura resistentes y parámetros de soldadura correctos.

Las propiedades de la tabla 1 son interdependientes. Cuando mayor sean la dureza y la resistencia, por ejemplo, más disminuirá la tenacidad. Las propiedades óptimas de la zona de soldadura se aseguran con los parámetros de soldadura correctos y la temperatura recomendada de trabajo. Normalmente no se facilitan valores numéricos para las propiedades de las juntas soldadas de aceros resistentes a la abrasión, aparte de la dureza y, en algunos casos, la resistencia. Ninguna de estas propiedades se suele ensayar.

**TABLA 1. COMBINACIÓN ÓPTIMA DE PROPIEDADES DE JUNTAS SOLDADAS DE ACEROS DE RESISTENTES A LA ABRASIÓN.**

Combinación de propiedades
Dureza
Resistencia al desgaste
Resistencia
Tenacidad

# 3 PARÁMETROS DE SOLDADURA Y EFECTO EN LAS PROPIEDADES DE UNA JUNTA SOLDADA

Durante la soldadura, el acero es objeto de un fuerte efecto térmico. La temperatura de la junta sube rápidamente desde la temperatura de trabajo hasta la temperatura del acero líquido, por encima de +1500 °C. El aporte de calor de la soldadura y la velocidad de enfriado de la junta son las principales variables con lo que se controla el procedimiento de la soldadura.

## 3.1 PARÁMETROS DE SOLDADURA MÁS IMPORTANTES

El calor utilizado en la soldadura viene indicado por los conceptos aporte de calor (Q) y energía del arco (E). La relación entre el aporte de calor y la energía de la soldadura se representa mediante el coeficiente específico del procedimiento de soldadura, eficiencia térmica "k". El valor más alto es k = 1, en cuyo caso la eficiencia térmica es del 100% y toda la energía del arco se utiliza para el aporte de calor. Los parámetros y las variables de soldadura más importantes aparecen en la figura 4. La tabla 2 recoge la eficiencia térmica típica de los métodos utilizados para la soldadura de aceros resistentes a la abrasión.

## 3.2 EFECTO DE LOS PARÁMETROS DE SOLDADURA EN LAS PROPIEDADES DE UNA JUNTA SOLDADA

El aporte de calor y la velocidad de enfriamiento de una junta están relacionados entre sí. Con un aporte térmico elevado, la junta se enfría lentamente, y con un aporte térmico pequeño, se enfría rápidamente. Respecto a la microestructura de la zona afectada por el calor (HAZ) de una junta soldada, lo más importante es el tiempo de enfriamiento de + 800 °C a + 500 °C, es decir,  $t_{8/5}$ , figura 5. Los factores que afectan a la velocidad de enfriamiento de una junta soldada aparecen en la tabla 3.

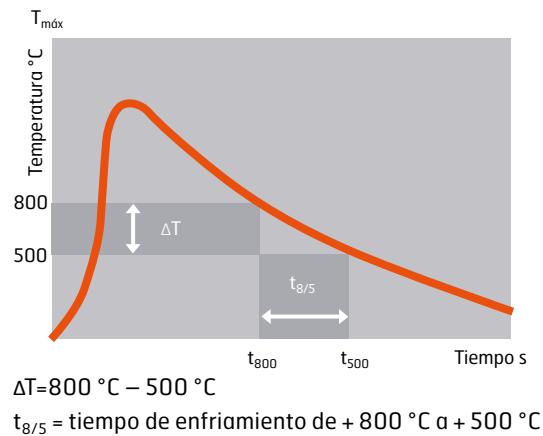
La figura 6 muestra los efectos de un aporte térmico grande o pequeño en la soldadura de aceros resistentes a la abrasión. Un aporte térmico elevado indica un tiempo  $t_{8/5}$  largo, mientras que un aporte térmico pequeño indica un tiempo de  $t_{8/5}$  corto.

Para la soldadura por arco, el requisito de aporte de calor más elevado se fundamenta en la mejora de la eficiencia de la soldadura. El aporte térmico elevado en la soldadura de chapas finas, resistentes a la abrasión, se ve limitado por su efecto negativo en la dureza del acero.

**TABLA 2. EFICIENCIA TÉRMICA TÍPICA SEGÚN LOS DIFERENTES MÉTODOS DE SOLDADURA.**

Método de soldadura	Eficiencia térmica, k
Soldadura por arco con gas protector, métodos MAG	0,8
Soldadura manual por arco metálico	0,8
Soldadura por arco sumergido	1,0
Soldadura por arco de plasma y soldadura TIG	0,6

**FIGURA 5. TEMPERATURA DE UN PROCESO DE SOLDADURA VS. TIEMPO, EN FORMA DE DIAGRAMA.**



**TABLA 3. FACTORES QUE AFECTAN A LA VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO DE UNA JUNTA SOLDADA.**

Energía de la soldadura
Grosor/grosos de chapa
Forma de la junta
Tipo de preparación de la junta
Temperatura de trabajo
Secuencia de soldadura

**FIGURA 4. APOORTE DE CALOR DE SOLDADURA, ENERGÍA DE SOLDADURA Y OTRAS VARIABLES DE SOLDADURA.**

$$Q = \frac{k \times 60 \times U \times I}{1000 \times v} \quad E = \frac{60 \times U \times I}{1000 \times v}$$

$$Q = k \times E$$

Q = Aporte de calor; es decir, la cantidad de calor transferida durante el proceso de soldadura a la soldadura por unidad de longitud (kJ/mm)

E = Energía del arco; es decir, energía transmitida por el proceso de soldadura por unidad de longitud (kJ/mm)

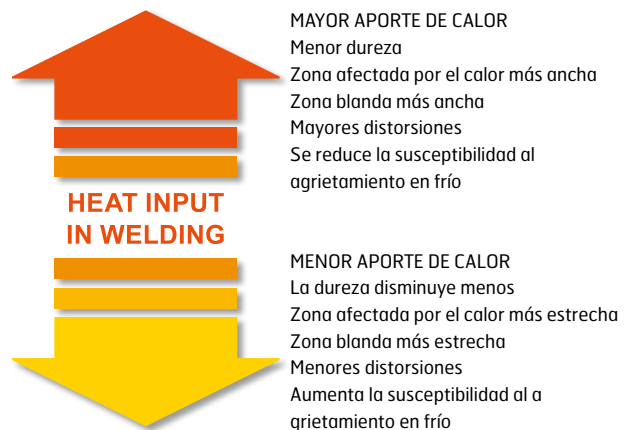
k = Eficiencia térmica; es decir, la relación entre el aporte de calor (Q) y la energía del arco (E)

U = Tensión (V)

I = Intensidad (A)

v = Velocidad de soldadura (mm/min)

**FIGURA 6. ACEROS RESISTENTES A LA ABRASIÓN. EFECTOS DEL APOORTE TÉRMICO SOBRE LA SOLDABILIDAD.**



# 4 CONSUMIBLES PARA LA SOLDADURA

Los consumibles de soldadura ferríticos de baja resistencia («undermatching») se usan para la soldadura de aceros estructurales ordinarios S355. Con mucha diferencia, son los consumibles más utilizados para los aceros resistentes a la abrasión, y se recomiendan para toda clase de durezas.

El uso previsto de los consumibles austeníticos de baja resistencia («undermatching») es la soldadura de aceros inoxidables austeníticos. Suponen una apuesta segura, especialmente para los aceros resistentes a la abrasión más duros y las chapas gruesas, así como para soldaduras de reparación.

## 4.1 CONSUMIBLES DE SOLDADURA DE BAJA RESISTENCIA («UNDERMATCHING». BLANDOS)

Para la soldadura de aceros resistentes a la abrasión, el contenido de hidrógeno de los consumibles ferríticos tiene una gran influencia sobre la susceptibilidad al agrietamiento en frío. Por lo tanto, los consumibles ferríticos deben tener un contenido de hidrógeno bajo: contenido de hidrógeno HD ≤ 5 ml/100 g (clase de contenido de hidrógeno H5).

Un consumible de soldadura se define como de baja resistencia («undermatching») si el metal de soldadura puro producido es básicamente más blando que el acero. El límite elástico del metal de soldadura puro producido por un metal de relleno de baja resistencia («undermatching»)

es de aproximadamente 500 MPa y su resistencia es buena. Se recomienda un metal de relleno, con bajo contenido de hidrógeno y baja resistencia («undermatching»), para la soldadura de aceros resistentes a la abrasión, debido a sus numerosas ventajas; véase la tabla 4.

**TABLA 4. VENTAJAS DE CONSUMIBLES DE SOLDADURA DE BAJA RESISTENCIA («UNDERMATCHING») EN COMPARACIÓN CON CONSUMIBLES DE ALTA RESISTENCIA.**

Ventajas
Buenas propiedades de soldadura
Gama muy amplia y buena disponibilidad
Económico durante la compra y también durante el uso
Menos tensiones en la soldadura
Los consumibles tenaces y dúctiles toleran bien las tensiones
Contenido equivalente de carbono inferior y, respectivamente, capacidad de endurecimiento inferior
Menor susceptibilidad al agrietamiento en frío
Tolera el hidrógeno mejor que un consumible de soldadura de alta resistencia
Menos necesidad de aumentar la temperatura de trabajo que con un consumible de soldadura de alta resistencia

Los consumibles de baja resistencia («undermatching») ferríticos recomendados para los procedimientos habituales de soldadura se indican en las tablas 5a y 5b.

**TABLA 5a. RAEX 400/450/500. CONSUMIBLES DE SOLDADURA FERRÍTICOS DE BAJA RESISTENCIA («UNDERMATCHING») CLASIFICACIÓN EN.**

Marcas equivalentes, o casi equivalentes (Esab). Límite máx. de elasticidad del metal de soldadura puro: aproximadamente 500 MPa. La "X" de la norma puede representar una o varias marcas de especificación.

Soldadura de electrodo sólido MAG (metal de soldadura)	Soldadura de electrodo tubular relleno de fundente MAG: Electrodo relleno de metal	Soldadura de electrodo tubular relleno de fundente MAG: Electrodo tubular relleno de rutilo	Soldadura por arco sumergido: Electrodo + fundente	Soldadura por arco metálico manual
EN ISO 14341: G 46 X  OK Autrod 12,64 (G 46 3 M G4Si1, G 42 2 C G4Si1)) OK AristoRod 12.63 (G 46 4 M G4Si1, G 42 2 C G4Si1))	EN ISO 17632: T 46 X  PZ6102 (T 46 4 M M 2 H5)	EN ISO 17632: T 46 X  OK Tubrod 15.14 (T 46 2 P M 2 H5, T 46 2 P C 2 H5)	EN ISO 14171 S 46X  OK Autrod 12.32+ OK Flux 10.71 (S 46 4 AB S3Si)	EN ISO 2560: E 46 X  OK 55.00 (E 46 5 B 32 H5)
EN ISO 14341: G 42 X  OK Autrod 12,51 (G 42 3 M G3Si1, G 38 2 C G3Si1)	EN ISO 16834: T 42 X  OK Tubrod 14.12 (T 42 2 M M 1 H10, T 42 2 M C 1 H10)		EN 756 S 38 X  OK Autrod 12.22+ OK Flux 10.71 (S 38 4 AB S2Si)	EN ISO 2560: E 42 X  OK 48.00 (E 42 4 B 42 H5)



**TABLA 5b. RAEX 400/450/500. CONSUMIBLES DE SOLDADURA FERRÍTICOS DE BAJA RESISTENCIA («UNDERMATCHING») CLASIFICACIÓN AWS.**

Marcas equivalentes, o casi equivalentes (Esab). Límite máx. de elasticidad del metal de soldadura puro: aproximadamente 500 MPa. La "X" de la norma puede representar una o varias marcas de especificación.

Soldadura de electrodo sólido MAG	Soldadura de electrodo tubular relleno de fundente MAG: Electrodo relleno de metal	Soldadura de electrodo tubular relleno de fundente MAG: Electrodo tubular relleno de rutilo	Soldadura por arco sumergido: Electrodo + fundente	Soldadura por arco metálico manual
AWS A5.18 ER70S-X	AWS A5.18 E70C-X	AWS A5.20 E71T-X	AWS A5.17 F7X	AWS: A5.1 E7018X
OK Autrod 12.51 (ER70S-6) OK AristoRod 12.63 (ER70S-6)	OK Tubrod 14.12 (E70C-6M, E70C-6C) PZ6102 (E70C-6M H4)	OK Tubrod 15.14 (E71T-1, E71T-1M)	OK Autrod 12.22+ OK Flux 10.71 (F7A5-EM12K)	OK 48.00 E7018 OK 55.00 (E7018-1)

**TABLA 6. VENTAJAS Y CARACTERÍSTICAS DE LOS CONSUMIBLES DE ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO PARA LA SOLDADURA DE ACEROS RESISTENTES A LA ABRASIÓN.**

Buenas propiedades de soldadura
Gama muy amplia y buena disponibilidad
Precio elevado
Tensiones bajas en la soldadura
Consumible para la soldadura muy tenaz y dúctil
La microestructura austenítica disuelve el hidrógeno sin susceptibilidad al agrietamiento en frío.
Normalmente no es necesario aumentar la temperatura de trabajo
Soporta bien las tensiones de la soldadura

**TABLA 7a. RAEX 400/450/500. CONSUMIBLES DE SOLDADURA AUSTENÍTICOS DE BAJA RESISTENCIA («UNDERMATCHING»), EJEMPLOS. CLASIFICACIÓN EN.**

Marcas equivalentes, o casi equivalentes (Esab). Clase de resistencia máx. de metal de soldadura puro: aproximadamente 500 MPa. La "X" de la norma puede representar una o varias marcas de especificación.

Soldadura de electrodo sólido MIG	Soldadura de electrodo tubular relleno de fundente MIG: Electrodo relleno de metal	Soldadura de electrodo tubular relleno de fundente MAG: Electrodo tubular relleno de rutilo	Soldadura por arco sumergido: Electrodo + fundente	Soldadura por arco metálico manual
EN 12072: G 18 8 Mn	EN 12073: T 18 8 Mn X	EN 12073: T 18 8 Mn X EN 14700: T Fe 10	EN 12072: S 18 8 Mn	EN 1600: E 18 8 MnX
OK Autrod 16.95 (G 18 8 Mn)	OK Tubrod 15.34 (T 18 8 Mn M M 2)	OK Tubrodur 14.71 (T Fe 10)	OK Autrod 16.97 (S18 8 Mn) + OK Flux 10.93	OK 67.45 (E 18 8 Mn B 4 2)

**TABLA 7b. RAEX 400/450/500. CONSUMIBLES DE SOLDADURA AUSTENÍTICOS DE BAJA RESISTENCIA («UNDERMATCHING»), EJEMPLOS. CLASIFICACIÓN AWS.**

Marcas equivalentes, o casi equivalentes (Esab). Clase de resistencia máx. de metal de soldadura puro: aproximadamente 500 MPa. La "X" de la norma puede representar una o varias marcas de especificación.

Soldadura de electrodo sólido MIG	Soldadura de electrodo tubular relleno de fundente MAG, Electrodo relleno de metal	Soldadura de electrodo tubular relleno de fundente MAG, Electrodo tubular relleno de rutilo	Soldadura por arco sumergido Electrodo + fundente	Soldadura por arco metálico manual
AWS 5.9 ER307	AWS 5.9 EC307	AWS 5.22 EC307T-x	AWS 5.9 ER307	AWS 5.4 E307-X
OK Autrod 16.95 ER307	OK Tubrod 15.34	OK Tubrodur 14.71	OK Autrod 16.97+ OK Flux 10.93	OK 67.45

# 5 PREVENCIÓN DEL AGRIETAMIENTO EN FRÍO

-Para prevenir el agrietamiento en frío, es de vital importancia mantener en un nivel bajo el hidrógeno que entre en la junta soldada. Con el fin de permanecer en un nivel inferior al contenido crítico de hidrógeno, es necesario utilizar métodos y consumibles de soldadura con bajo contenido de hidrógeno. Además, deben seguirse las instrucciones de soldadura de Raex. La temperatura de trabajo y el aporte de calor correctos, para lograr una velocidad de enfriamiento adecuada, son factores clave de la soldadura. Se debe usar una temperatura suficientemente alta en las soldaduras de pasadas múltiples. La necesidad de evitar el agrietamiento en frío se acentúa al aumentar la dureza del acero y el grosor de la chapa. Si la chapa se almacena en frío, debe calentarse bien, al menos a temperatura ambiente (+ 20 °C), antes de la soldadura u otros tratamientos de la chapa.

## 5.1 CONTROL DEL ENDURECIMIENTO DE LA MICROESTRUCTURA DE UNA JUNTA SOLDADA

Una microestructura martensítica supone buena resistencia al desgaste. Si la junta se enfría demasiado rápido después de la soldadura, la martensita se puede endurecer demasiado y la ductilidad ser demasiado baja en el metal de soldadura y/o en la zona afectada por el calor de la soldadura. El agrietamiento en frío se previene mediante la restricción de la dureza de la microestructura con los parámetros correctos de soldadura. La capacidad de endurecimiento del acero y los consumibles de soldadura proviene de su valor equivalente de carbono.

## 5.2 CONTROL DEL CONTENIDO DE HIDRÓGENO

Para prevenir el agrietamiento en frío es de vital importancia mantener un nivel bajo el hidrógeno en el consumible y la zona afectada por el calor. Se recomienda utilizar un método de soldadura y consumibles con bajo contenido de hidrógeno para conseguir un contenido de hidrógeno máximo de 5 ml/100 g. Se puede lograr un nivel bajo de hidrógeno con los consumibles correctos, por ejemplo, soldadura por arco con gas protector (MAG) con electrodo sólido y electrodo de núcleo fundente, soldadura por arco sumergido y soldadura por arco metálico manual con varillas con revestimiento básico. Deben seguirse las instrucciones de los fabricantes relativas a la elección, uso y almacenamiento de consumibles.

La entrada de hidrógeno en la junta soldada aumenta en función de la humedad en la superficie de la ranura, así como la suciedad y los contaminantes, tales como grasa o pintura. Para minimizar el agrietamiento en frío, la parte superior de las ranuras debe estar totalmente seca y debe limpiarse el metal antes y durante la soldadura.

## 5.3 ALIVIO DE TENSIONES RESIDUALES EN UNA JUNTA SOLDADA

El agrietamiento en frío se puede prevenir de manera efectiva aliviando las tensiones residuales. La forma más sencilla de eliminar las tensiones residuales en las juntas soldadas de aceros Raex es utilizar consumibles de baja resistencia («undermatching») austeníticos o ferríticos. Las tensiones también se pueden aliviar mediante determinadas técnicas de soldadura. Especialmente al soldar chapas finas, debe optimizarse el tamaño de la soldadura, y deben evitarse soldaduras innecesarias grandes. La temperatura debe mantenerse uniforme en las diferentes partes de la estructura durante todo el proceso de soldadura. Si es necesario, debe apoyarse o asegurarse mediante soldadura de puntos o soldadura el conjunto de la estructura que se va a soldar.

## 5.4 CONSEJOS PRÁCTICOS PARA LA SOLDADURA

La tabla 8 presenta maneras para aliviar las tensiones residuales y mejorar la resistencia de la estructura soldada.

## 5.5 SOLDADURA A LA TEMPERATURA DE TRABAJO CORRECTA

Una temperatura de trabajo correcta y un aporte de calor suficiente desaceleran el enfriamiento de la junta soldada a la velocidad adecuada. Gracias a estas medidas se evitará el agrietamiento en frío.

La temperatura de trabajo correcta se determina sobre la base de los siguientes factores:

- Calidad del acero y contenido en carbono equivalente.
- Grosor combinado de chapa.
- Aporte térmico.
- Contenido de hidrógeno de los consumibles para la soldadura.
- Valor de contenido en carbono equivalente de los consumibles para la soldadura.
- Nivel de resistencia de los consumibles para la soldadura.
- Tipo de consumibles de soldadura (ferríticos / austeníticos).

La necesidad de subir la temperatura de trabajo aumenta con el contenido equivalente de carbono, con la dureza y con el grosor de la chapa de la calidad de acero. Los valores típicos, de contenido equivalente de carbono de aceros Raex, para cada grosor de chapa se indican en las respectivas fichas de datos. Los certificados de los materiales facilitan valores de contenido específico de carbono para chapas que se puedan usar para preparar un plan detallado de soldadura.

Las temperaturas de trabajo recomendadas para Raex 400, Raex 450 y Raex 500 se indican en la figura 7. Las recomendaciones se basan en la norma EN 1011-2. Las temperaturas de trabajo son aplicables a los consumibles ferríticos de baja resistencia («undermatching») con contenido de hidrógeno 5 ml/100 g o inferior. La temperatura de trabajo generalmente se consigue mediante un precalentamiento. En las soldaduras de pasadas múltiples, la energía aportada a la junta – por la pasada anterior – puede ser suficiente para mantener la temperatura de trabajo correcta antes de la soldadura de la siguiente pasada, por lo que no será necesaria calefacción externa durante la soldadura. En la soldadura de

pasada múltiple, las recomendaciones de temperatura de trabajo son aplicables como temperatura mínima entre pasadas. La temperatura entre pasadas no puede ser inferior a la recomendación de temperatura de trabajo y no debe ser superior a +220 °C. Cuando más pequeño sea el contenido de hidrógeno generado por el método de soldadura, menos necesidad hay de aumentar la temperatura de trabajo. Si es necesario usar consumibles HD>5 ml/100 g, la temperatura de trabajo debe ser superior a los valores de la tabla. La necesidad de subir la temperatura de trabajo disminuye si aumenta el aporte de calor.

El aumento de la temperatura de trabajo es especialmente importante en la soldadura por puntos y en la soldadura de reparación, ya las soldaduras pequeñas y locales se enfrían rápidamente y se endurecen a una velocidad rápida. Se debe evitar iniciar y detener las pasadas de soldadura en las esquinas de una estructura. La experiencia en la soldadura de los aceros endurecidos demuestra las evidentes ventajas del precalentamiento. Incluso un precalentamiento moderado a temperaturas inferiores a + 100 °C mejora la soldabilidad, también para espesores de chapa que no requieren precalentamiento conforme a las instrucciones. Para la soldadura de estructuras de gran tamaño y complicadas, así como en condiciones especialmente difíciles, se debe usar una temperatura de trabajo superior a los valores de la tabla, pero por debajo de + 220 °C. No se deben usar temperaturas de trabajo o entre pasadas aun superiores, ya que disminuiría la dureza de la soldadura.

**TABLA 8. FORMAS PRÁCTICAS PARA ELIMINAR LAS TENSIONES RESIDUALES.**

Aliviar las tensiones residuales durante la fase de planificación.
Minimizar las diferencias de rigidez en las diversas partes de la estructura.
Optimizar el tamaño de la soldadura.
Predecir y controlar las distorsiones.
Utilizar pretensado en la soldadura de grandes estructuras.
Privilegiar pequeñas separaciones en las construcciones que se van a soldar.
Realizar un buen uso de ranuras de penetración completa de ambas caras, a la hora de soldar chapas gruesas.
Rectificar los bordes y las esquinas de las estructuras de acero soldadas hasta que estén suaves.
Acabar la soldadura de una estructura crítica de fatiga rectificando las conexiones entre las soldaduras y el metal de base.

**FIGURA 7. TEMPERATURAS DE TRABAJO RECOMENDADAS (°C) PARA LA SOLDADURA CUANDO EL APORTE TÉRMICO ES CONFORME A LAS RECOMENDACIONES DE LA FIGURA 8.**

Calidad del acero	Grosor de chapa, mm							
	10	20	30	40	50	60	70	80
Raex 400	+20	+75	+100	+125	+150	+175		
Raex 450	+20	+75	+100	+125	+150	+175		+200
Raex 500	+20	+100	+125	+150	+175		+200	

# 6 CÓMO OBTENER LA COMBINACIÓN ÓPTIMA DE PROPIEDADES EN LAS JUNTAS SOLDADAS

La resistencia, la dureza y resistencia al desgaste son las características requeridas de las juntas de acero resistente a la abrasión. En función de las condiciones de uso y la utilización, puede haber otros requisitos como la resistencia a los impactos y otras propiedades específicas. A parte de la dureza, no hay otros requisitos numéricos generales. Las propiedades óptimas de la zona de soldadura se aseguran con los parámetros de soldadura correctos y la temperatura recomendada de trabajo.

## 6.1 PARÁMETROS RECOMENDADOS DE SOLDADURA

Los parámetros recomendados de soldadura se determinan con la variable  $t_{8/5}$ . Para lograr propiedades óptimas en una junta soldada se requiere que el aporte de calor seleccionado corresponda con el tiempo de enfriamiento  $t_{8/5}=10-20$  segundos. En el trabajo práctico de soldadura, el tiempo de enfriamiento de 10 segundos corresponde al valor mínimo de aporte de calor; y el tiempo de enfriamiento de 20 segundos al máximo valor de aporte de calor. Un valor demasiado bajo de  $t_{8/5}$  (enfriamiento rápido) aumenta el endurecimiento de la zona afectada por el calor y el agrietamiento en frío. Un valor demasiado alto de  $t_{8/5}$  (enfriamiento lento) disminuye la dureza y la tenacidad de la junta.

La figura 8 indica el aporte térmico máximo y mínimo recomendado para los aceros Raex. Las temperaturas de trabajo de la figura 7 se han tenido en cuenta para determinar los límites del aporte de calor. Los valores mínimos de aporte de calor, en la figura 8, pueden reducirse mediante el aumento de la temperatura de trabajo. Esto podría ser necesario, por ejemplo, en la soldadura por puntos y en la soldadura de recuperación o pasadas de raíz.

## 6.2 ZONA BLANDA EN JUNTAS SOLDADAS

La alta resistencia y dureza de los aceros resistentes a la abrasión se obtiene mediante elementos de aleación y endurecimiento. En la soldadura por fusión, la temperatura de la junta alcanza +1500 °C o más. Por tanto, se forman zonas blandas en la junta durante la soldadura de aceros resistentes a la abrasión. Siempre hay reblandecimiento en la zona afectada por el calor. Además, el metal

de soldadura generalmente sigue siendo más blando que la dureza del metal base. La figura 9 muestra un perfil típico de dureza de las juntas soldadas de acero Raex.

Comentarios sobre el perfil de dureza:

- La dureza de las juntas soldadas de aceros Raex normalmente es menor que la del metal base.
- El perfil de dureza del acero Raex, cortado térmicamente desde el borde de corte hacia el metal base, sigue el perfil de dureza de la zona afectada por el calor, con dos excepciones: la dureza máxima del borde de corte es algo mayor, y la zona blanda de la chapa cortada es más estrecha que la de una junta soldada.
- La dureza de la zona afectada por el calor de un acero normal S355 es normalmente superior que la dureza del metal base; lo mismo aplica a los bordes cortados térmicamente.

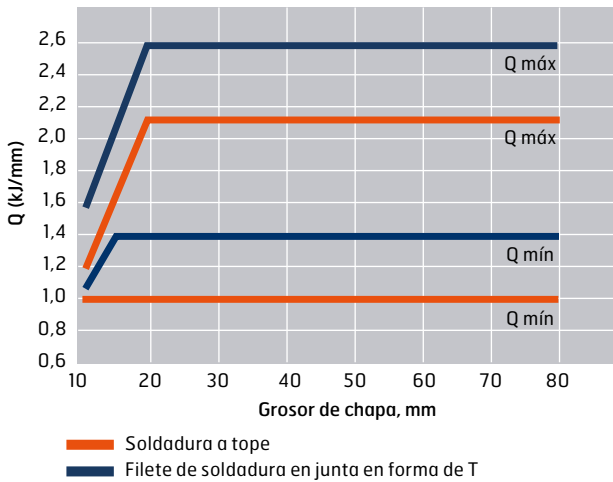
Perfil de dureza de las juntas soldadas de acero Raex.

- La dureza del metal base depende del aporte de calor y de los elementos de aleación de los consumibles para la soldadura.
- En la zona afectada por el calor, cerca de la línea de fusión, la dureza es igual a la del metal base.
- El reblandecimiento de la zona afectada por el calor se acentúa cuando el aporte de calor aumenta; es decir, cuando el tiempo de enfriamiento ( $t_{8/5}$ ) se alarga.

La tendencia al reblandecimiento causado por la soldadura debe tenerse en cuenta especialmente con calidades más duras y con pequeños grosores. Para evitar el reblandecimiento, las chapas delgadas se deben soldar a temperatura ambiente de +20 °C y no se permite el precalentamiento. El reblandecimiento se previene limitando el aporte de calor y controlando la temperatura máxima de trabajo máxima/entre pasadas.

En las aplicaciones de acero resistente a la abrasión, una zona blanda normalmente no acorta la vida útil del equipo o la estructura. No obstante, en las aplicaciones que requieren resistencia estructural, debe tenerse en cuenta la zona blanda en el diseño. En estas estructuras, las juntas soldadas no deben colocarse en los puntos con más tensiones.

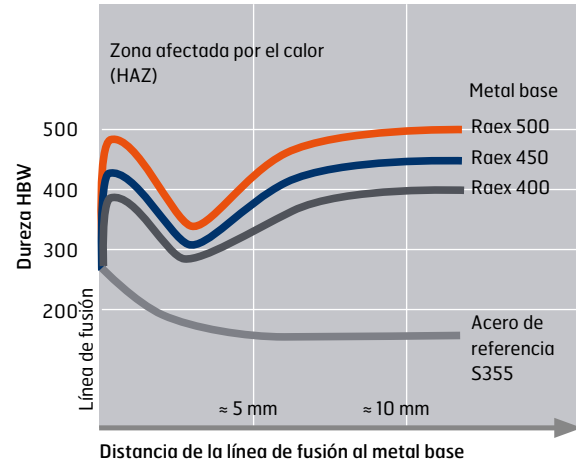
**FIGURA 8. RAEX 400, RAEX 450 Y RAEX 500. RECOMENDACIÓN DE APOORTE TÉRMICO (Q), SOLDADURA POR ARCO.**



$$Q = \frac{k \times 60 \times U \times I}{1000 \times v}$$

Q = Aporte térmico (kJ/mm)  
 k = Eficiencia térmica  
 k = 0,8 para MAG, FCAW y MMA  
 k = 1,0 para SAW  
 U = Tensión (V), I = Corriente (A)  
 v = Velocidad de soldadura (mm/min)

**FIGURA 9. UN PERFIL TÍPICO DE DUREZA DE LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR DE UNA JUNTA SOLDADA AL USAR LOS TIEMPOS DE ENFRIAMIENTO RECOMENDADOS T<sub>8/5</sub>.**



Comparación con un perfil de dureza correspondiente de acero de construcción estándar S355.

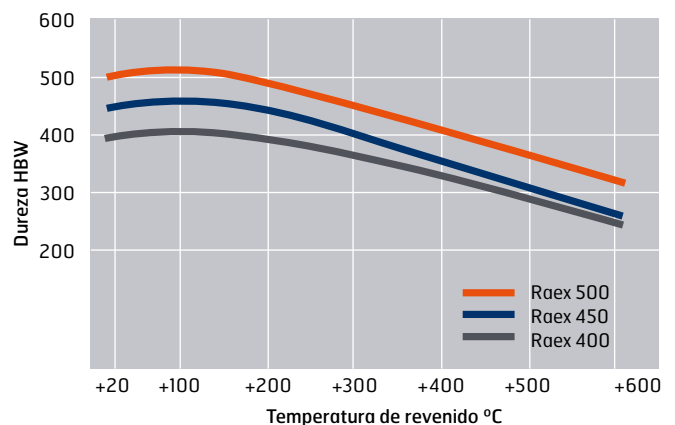
## 7 TRATAMIENTO TÉRMICO

Los aceros resistentes a la abrasión no están diseñados para aplicarles un tratamiento térmico posterior. El tratamiento térmico a altas temperaturas disminuye sus propiedades de dureza, resistencia y resistencia al desgaste. La figura 10 muestra el cambio de dureza de los aceros Raex después del revenido a diferentes temperaturas. Como se muestra en la figura, parte de la dureza generada por el proceso de endurecimiento ha desaparecido con el temple.

El tratamiento térmico con una temperatura de más de +250 °C reduce la dureza. Por tanto, no pueden aliviarse las tensiones residuales de los aceros Raex sin reducir su dureza. No se recomiendan tratamientos térmicos posteriores (PWHT).

En determinadas aplicaciones, el acero endurecido se temple o se alivian las tensiones, bien después de la soldadura o después de otras operaciones de tratamiento en taller. En este caso, se aceptan las propiedades mecánicas obtenidas por dicho tratamiento térmico. Se puede mejorar la tenacidad del acero endurecido mediante revenido, esta podría ser la razón que motiva la decisión de un tratamiento térmico. El alivio de las tensiones puede reducir las tensiones creadas en una chapa de acero durante la fabricación en taller.

**FIGURA 10. EFECTO DE LA TEMPERATURA DE REVENIDO SOBRE LA DUREZA.**



Los valores de dureza se han medido a temperatura ambiente, después del revenido a temperaturas elevadas. El tiempo de mantenimiento fue de 2 horas, después los aceros se enfriaron al aire, a temperatura ambiente.



# 8 COMPORTAMIENTO DEL ACERO DURANTE EL CORTE TÉRMICO

Las chapas gruesas y los objetos grandes normalmente se cortan mediante métodos térmicos. Durante el corte térmico la superficie del acero es objeto de un tratamiento térmico local a una profundidad de pocos milímetros desde el borde de corte, incluidos los cambios en la microestructura. Debido a estos cambios, se forma una capa dura y una capa blanda en el borde de corte.

## 8.1 PROCEDIMIENTO DE CORTE TÉRMICO

La superficie del acero, cortado térmicamente, disfruta un calentamiento temporal casi hasta el punto de fusión del acero. Tras el corte, se enfría rápidamente, a no ser que se controle la velocidad de enfriado. En el corte térmico, la superficie del acero sufre de cambios microestructurales similares a la zona afectada por el calor. La superficie más exterior de la pieza cortada se endurece. La superficie endurecida es susceptible de sufrir agrietamiento en frío. Bajo la superficie endurecida, se ha formado una zona blanda; véase la figura 11. La zona blanda se ha recocado. La anchura de ambas zonas depende del método de corte y de los parámetros de corte.

## 8.2 CONTROL DE LA DUREZA DE LA SUPERFICIE MEDIANTE EL AUMENTO DE LA TEMPERATURA DE TRABAJO

En el corte térmico, se recomienda controlar la dureza de la superficie con tratamiento térmico, con el fin de garantizar que la superficie permanezca intacta. Una dureza máxima, suficientemente baja, evita que se formen grietas en el borde de corte. A menudo se recurre al precalentamiento para controlar el endurecimiento. Las temperaturas de trabajo recomendadas para el corte térmico se indican en la figura 12.

El precalentamiento por encima de la temperatura ambiente se puede evitar si la velocidad de corte se ajusta para ser convenientemente lenta y si las boquillas de corte y otros equipos se eligen apropiadamente. Con el fin de identificar el mejor método de corte, es recomendable ponerse en contacto con nuestro servicio técnico de atención al cliente o con el fabricante del equipo de corte.

## 8.3 PREVENCIÓN DEL REBLANDECIMIENTO DURANTE EL CORTE TÉRMICO

La energía de corte de las secciones de acero grandes se transmite libremente a la chapa próxima, lo que acelera el enfriamiento de la zona de corte y limita el ancho de la zona suave. Sin embargo, en el oxicorte de chapas de 30

mm o menos de espesor, la distancia entre las líneas de corte debe ser al menos de 200 mm con el fin de evitar el reblandecimiento de toda la chapa. Se puede recurrir al orden de corte para controlar ablandamiento.

La reducción del tamaño de la sección y el grosor de la chapa aumentan el reblandecimiento. Con las secciones pequeñas, la energía térmica generada por el método de corte y el precalentamiento posible se acumula en la sección de corte, lo que reduce el proceso de enfriamiento. De todos los métodos de corte térmico, los que provocan menos reblandecimiento son el corte por láser y el corte por plasma de espesores adecuados. La zona blanda de acero cortado por láser o plasma es más estrecha que la correspondiente al acero cortado por oxicorte (figura 13). El oxicorte y el corte por plasma sumergido eficientes controlan el reblandecimiento de la sección de corte y, por tanto, son aptos para el corte de secciones de todos los tamaños. Para controlar el reblandecimiento, se recomienda usar métodos de corte en frío, como por ejemplo corte por chorro de agua no térmico, o corte por chorro de agua abrasivo.

## 8.4 CONSEJOS PRÁCTICOS PARA EL CORTE TÉRMICO

Se debe tener en cuenta en el taller el efecto de las temperaturas bajo cero en las propiedades de tratamiento de las chapas. Las chapas que se hayan almacenado en un ambiente frío deben sacarse con suficiente antelación antes del oxicorte y la soldadura. La figura 13 muestra el tiempo necesario para el calentamiento, cuando se trae una chapa de acero desde un entorno de temperatura bajo cero. Las mediciones se realizaron para chapas de tres grosores diferentes, en febrero en el norte de Finlandia.

La prueba de la figura 13 dio los siguientes resultados de calentamiento desde  $-20\text{ °C}$  hasta  $+17\text{ °C}$

- aproximadamente 8 horas para una chapa de 12 mm
- aproximadamente 12 horas para una chapa de 21 mm
- aproximadamente 17 horas para una chapa de 40 mm.

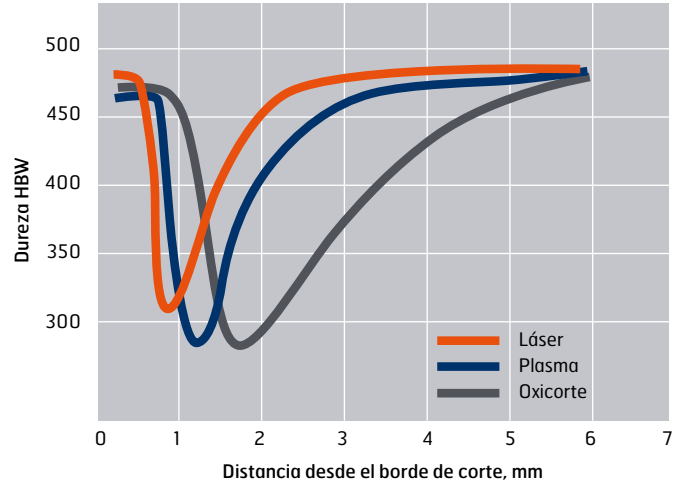
La superficie y el centro de la chapa se calentaron a igual ritmo. Las chapas gruesas y grandes apiladas las unas sobre las otras se calentarán más lentamente. Como regla general básica, una chapa fría (ancho de 2 m, largo de 6 m)

guardada en exteriores en un entorno a temperatura bajo cero se calienta a temperatura ambiente en aproximadamente 24 horas.

**Consejos prácticos:**

- Antes del corte, las chapas frías se deben dejar calentar bien hasta alcanzar la temperatura ambiente (+20 °C).
- Las chapas almacenadas en un lugar frío deben llevarse al taller el día anterior del procesamiento.
- Las chapas frías deben guardarse en estructuras de almacenamiento de madera.
- Una chapa fría de 40 mm (-20 °C) se calienta a temperatura ambiente (+ 20 °C) en unas 24 horas.
- Al cortar chapas gruesas, debe usarse una elevada temperatura de trabajo según la figura 12.
- Para la eliminación de virutas de una sección cortada térmicamente, se deben quitar mediante rectificado la superficie endurecida y los bordes afilados.

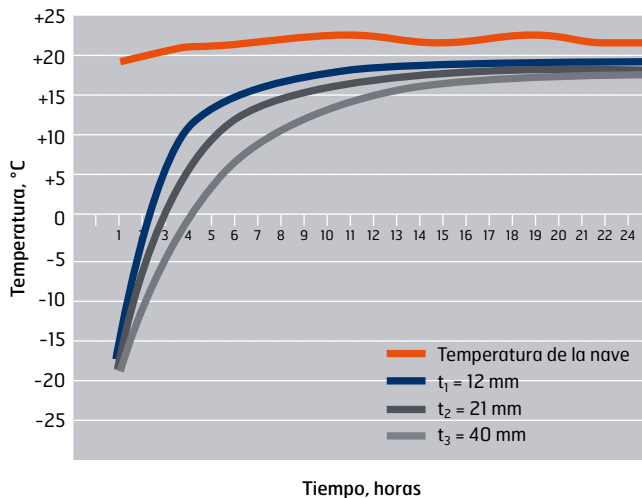
**FIGURA 11. CHAPA DE ACERO RESISTENTE A LA ABRASIÓN, 6 mm. PERFIL TÍPICO DE DUREZA DE UNA SUPERFICIE CORTADA TÉRMICAMENTE ILUSTRADA DESDE EL CORTE DE CORTE HACIA EL ACERO BASE.**



**FIGURA 12. TEMPERATURAS DE TRABAJO RECOMENDADAS (°C) PARA EL OXICORTE.**

Calidad del acero	Grosor de chapa, mm					
	10	20	30	40	50	60-80
Raex 400	+20	+75	+100	+125	+150	+175
Raex 450	+20	+75	+100	+125	+150	+175
Raex 500	+20	+100	+125	+150	+175	

**FIGURA 13. EL TIEMPO DE CALENTAMIENTO DE CHAPAS DE ACERO FRÍAS (-20 °C) EN UNA NAVE CON UNA TEMPERATURA DE ENTRE +20 °C Y +22 °C.**



Tamaños de chapa 12 x 1000 x 2000, 21 x 1000 x 1600 y 40 x 1000 x 2000 mm.

CONTACTO