

## Uniones cruciformes

Consideremos las uniones en ángulo, por una sola cara o cruciformes, donde la existencia de falta de penetración puede llegar a producir propagación de grieta del interior de la soldadura al exterior. El esquema del defecto se representa en la figura 25. Estas uniones han sido estudiadas con 6mm de espesor de chapa, tanto en aleación 6005 (Al-Mg-Si) como 5083 (Al-Mg).

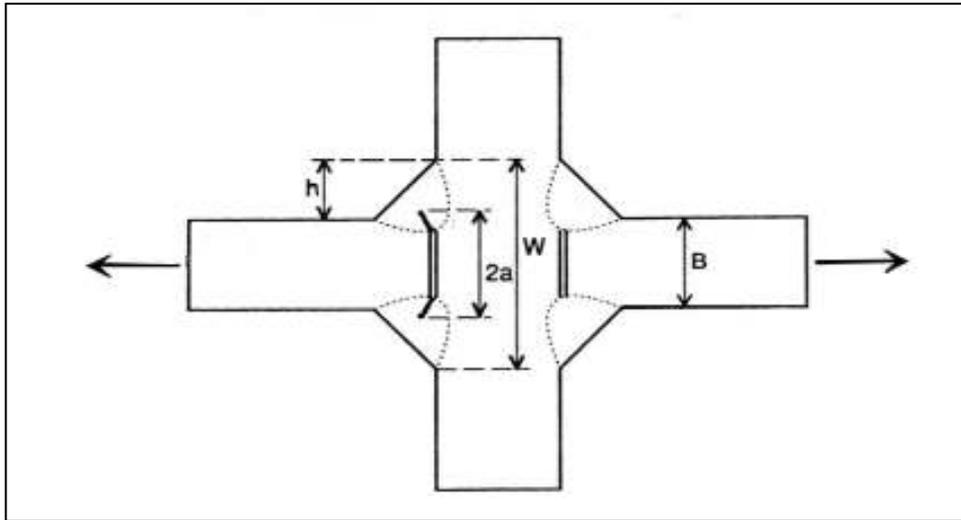


Figura 25

La fórmula más empleada para calcular el factor de intensidad de tensiones es:

$$K = M_k \sigma_m \sqrt{\pi \cdot a \cdot \sec\left(\frac{\pi \cdot a}{W}\right)}$$

donde:

$$M_k = \frac{A_1 + A_2 \frac{2a}{W}}{1 + \frac{2h}{B}}$$

$$A_1 = 0.528 + 3.287 \cdot \left(\frac{h}{B}\right) - 4.361 \cdot \left(\frac{h}{B}\right)^2 + 3.696 \cdot \left(\frac{h}{B}\right)^3 - 1.875 \cdot \left(\frac{h}{B}\right)^4 + 0.415 \left(\frac{h}{B}\right)^5$$

$$A_2 = 0.218 + 2.717 \cdot \left(\frac{h}{B}\right) - 10.171 \cdot \left(\frac{h}{B}\right)^2 + 13.122 \cdot \left(\frac{h}{B}\right)^3 - 7.755 \cdot \left(\frac{h}{B}\right)^4 + 1.783 \cdot \left(\frac{h}{B}\right)^5$$

siendo  $\sigma_m$  la tensión de sollicitación de la chapa.

En nuestras determinaciones pueden obtenerse los siguientes valores considerados como representativos de la unión:

$$\begin{aligned} W &= 16 \text{ mm} \\ h &= 5 \text{ mm} \\ B &= 6 \text{ mm} \end{aligned}$$

La falta de penetración entre cordones puede considerarse en 4.5 mm. En este caso resultará:  $A_1 = 1.64$  y  $A_2 = -0.01$

Por tanto,

$$M_k = \frac{1.64 - 0.01 \cdot \left(\frac{2a}{W}\right)}{2.67}$$

Al considerar que la falta de penetración pueda avanzar 0.5 mm en cada cordón de soldadura en ángulo, se tendrá  $2a = 5.5 \text{ mm}$  y  $\left(\frac{2a}{W}\right) = 0.344$ . Por tanto,  $M_k = 0.613$ .

Debe considerarse que en el caso que la grieta penetrase 2 mm en cada cordón,  $2a = 8.5 \text{ mm}$  y  $\left(\frac{2a}{W}\right) = 0.531$ , pero  $M_k = 0.612$ ; mantendría prácticamente el mismo valor anterior.

Para ambos casos:

$$2a = 5.5 \text{ mm} \Rightarrow K = 0.613 \cdot \sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot 2.75 \cdot \sec\left(\frac{\pi \cdot 2.75}{16}\right)} = 1.95 \cdot \sigma$$

$$2a = 8.5 \text{ mm} \Rightarrow K = 0.613 \cdot \sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot 4.25 \cdot \sec\left(\frac{\pi \cdot 4.25}{16}\right)} = 2.73 \cdot \sigma$$

Este tipo de uniones suelen proyectarse con tensiones del 30% del valor del límite elástico de la aleación de aluminio base, lo que supondría 76 MPa para Al-Mg y 81.3 MPa para Al-Mg-Si, valores ligeramente inferiores a los mínimos obtenidos para el cálculo basado sobre el metal de aportación.

Para aleación Al-Mg y  $2a = 5.5 \text{ mm}$  se obtendrá  $K_{I\text{aplicada}} = 148 \text{ N/mm}^{3/2}$  y para  $2a = 8.5 \text{ mm}$  un valor  $K_{I\text{aplicada}} = 208 \text{ N/mm}^{3/2}$ . Con material Al-Mg-Si se tendrá para ambos tamaños de defectos  $159 \text{ N/mm}^{3/2}$  y  $222 \text{ N/mm}^{3/2}$ .

Aplicando el Nivel 2 de evaluación y considerando que la propagación del defecto tendrá lugar dentro del material de aportación con límites elásticos determinados en ensayos de 84 N/mm<sup>2</sup> para el aporte ER 4043 y de 147 N/mm<sup>2</sup> para el aporte ER 5356 se tendrá, teniendo en cuenta que:

$$L_r = \frac{\text{tensión aplicada}}{\text{límite elástico del material}} \quad \text{y} \quad K_r = \frac{K_{\text{máximo}}}{K_{\text{material}}}$$

$$\text{Aleación 6005 (Al-Mg-Si)} \Rightarrow L_r = \frac{81.3}{84} = 0.97 \quad \text{y, por tanto, } K_r = 0.614$$

$$\text{Aleación 5083 (Al-Mg)} \Rightarrow L_r = \frac{76}{147} = 0.52 \quad \text{y, por tanto, } K_r = 0.954$$

Debe tenerse en cuenta que aunque la aleación Al-Mg-Si tiene mayor resistencia que la aleación Al-Mg, la resistencia del material de aportación empleado en la primera y elegido por razones metalúrgicas, presenta menor resistencia que la aportación empleada para las aleaciones Al-Mg. Como factores de intensidad de tensión para la aleación Al-Mg-Si se ha considerado 913.5 N/mm<sup>3/2</sup> y para la soldadura de la aleación Al-Mg 850.5 N/mm<sup>3/2</sup>.

De los resultados anteriores se deduce que:

$$K_{\text{máximo}}(\text{Al-Mg-Si}) = 561 \text{ N/mm}^{3/2}$$

$$K_{\text{máximo}}(\text{Al-Mg}) = 811 \text{ N/mm}^{3/2}$$

valores muy superiores a los considerados anteriormente como de sollicitación de la unión y, por tanto, no deben esperarse consecuencias derivadas de la propagación del defecto en la rotura del componente soldado. La tenacidad del material asegura un comportamiento estable de la unión. La evaluación del defecto deberá ser considerada según cálculo estático, basado en el valor de la garganta resistente que llegará a producir colapso plástico del ligamento resistente y no bajo criterios de evaluación del defecto mediante mecánica de la fractura.

La valoración por ligamento remanente o garganta efectiva de los cordones de las soldaduras permite establecer que el esfuerzo aplicado sobre cada uno de los cordones de soldadura, da lugar a una tensión normal y una tensión cortante de valor:

$$\sigma_n = J_1 = \frac{\sigma_{\text{aplicada}} \cdot \text{espesor de material}}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot g \text{ arganta efectiva de cordón}}$$

obteniéndose una tensión de comparación de cálculo:

$$\sigma_{\text{comparación}} = \frac{\sigma_{\text{aplicada}} \cdot \text{espesor de material}}{\sqrt{2} \cdot g \text{ arganta cordón}} \leq \text{límite elástico del material}$$

Para una tensión aplicada a la unión de aproximadamente  $80 \text{ N/mm}^2$  (valor válido para las dos aleaciones consideradas) y un espesor de material de 6 mm sería necesario asegurar una garganta efectiva de 4 mm en aleación Al-Mg-Si ( $\sigma_y = 84 \text{ N/mm}^2$ ) y de 2.5 mm en aleación Al-Mg ( $\sigma_y = 147 \text{ N/mm}^2$ ) para evitar el colapso de la unión soldada.

Considerando que la soldadura en ángulo entre chapas de 6 mm de espesor, debe asegurar una garganta mínima en el cordón de 4.5 mm, debe recomendarse la determinación cuidadosa del valor de garganta en las pruebas de aceptación del procedimiento para la aleación Al-Mg-Si. Por el contrario, este valor de garganta permite un amplio margen de seguridad si se emplea la aleación Al-Mg.

Consideremos ahora el defecto de mordedura en los bordes del cordón de soldadura, para evaluar la severidad de este defecto, cuyo esquema se representa en la figura 26. El procedimiento de evaluación es utilizado, en uniones con o sin penetración completa y puede ser aplicado en uniones en simple T o cruciformes.

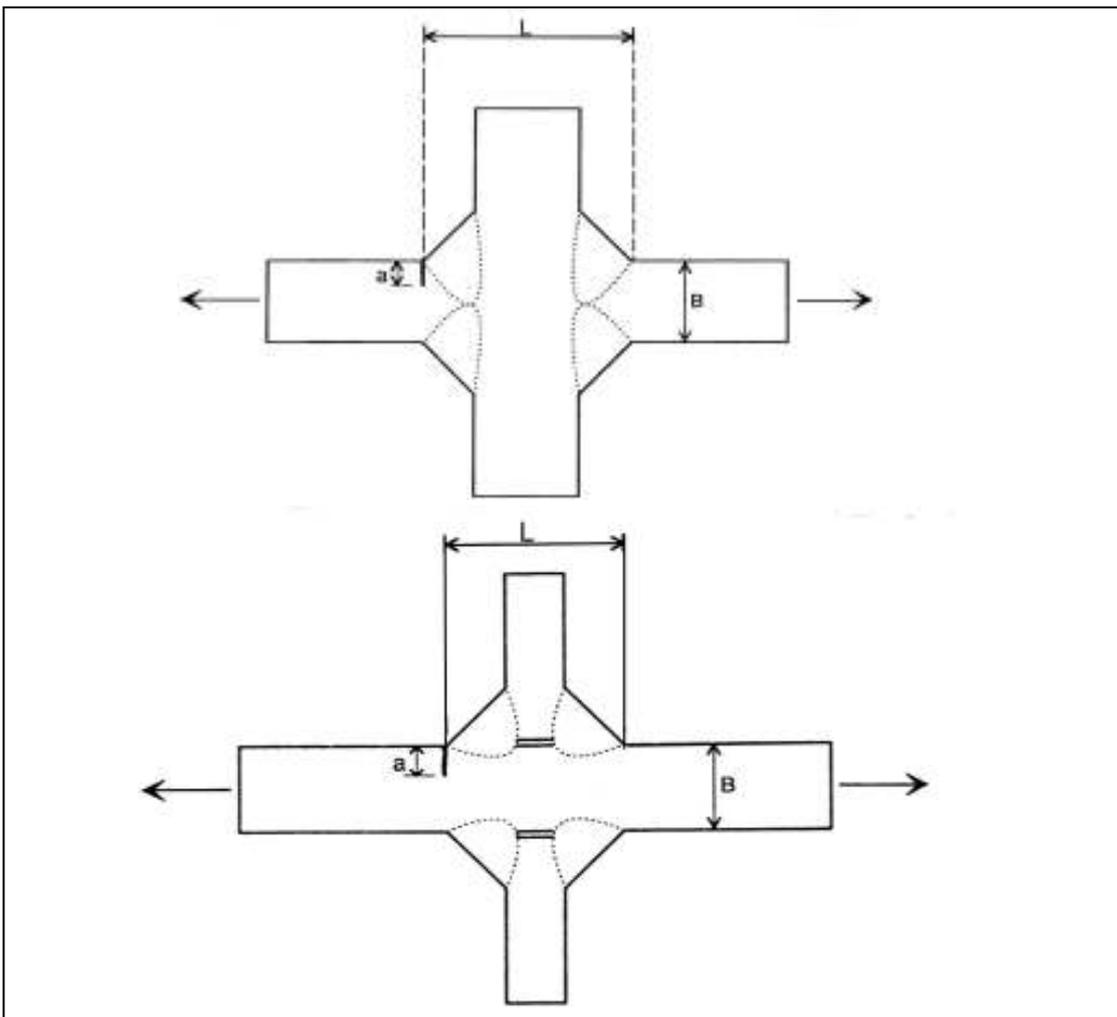


Figura 26

Teniendo en cuenta que el defecto de mordedura está localizado en una zona de concentración local de tensiones, es necesario incluir este defecto en el cálculo de K. El factor de intensidad de tensiones será multiplicado por un factor:

$$M_K = \frac{\text{K con concentración de tensión}}{\text{K sin concentración de tensión}}$$

y este factor  $M_k$  normalmente disminuye cuando se incrementa la profundidad del defecto, alcanzando el valor unidad para profundidades próximas al 30% del espesor de la chapa. El factor de intensidad de tensión puede ser calculado analíticamente mediante:

$$K = \frac{M_K \cdot M \cdot \sigma}{\Phi} \sqrt{\pi \cdot a}$$

donde:

$$M_k = \alpha \cdot \left(\frac{a}{B}\right)^\beta$$

siendo los parámetros  $\alpha$ ,  $\beta$ , dependientes de las relaciones (L/B), siendo L la distancia entre extremos de los pies de las soldaduras y B el espesor de la chapa.

En la unión soldada en ángulo con dos cordones a ambos lados objeto de estudio de 6 mm de espesor de chapa (B= 6) puede estimarse un valor medio para L de 24 mm (L=24), por tanto L/B = 4.

Debe considerarse la relación entre profundidad del defecto y espesor. Para ello consideremos profundidades de defecto de 0.1 mm , 0.5 mm , 1 mm , 2 mm , y 3 mm. Se tendrá:

<b>a (mm)</b>	<b>a/B</b>		<b><math>\alpha</math></b>	<b><math>\beta</math></b>	<b><math>M_K</math></b>	<b>M</b>
0.1	0.017	⇒	0.615	-0.31	2.175	1.113
0.5	0.083	⇒	0.83	-0.20	1.365	1.127
1	0.167	⇒	0.83	-0.20	1.187	1.174
2	0.334	⇒	0.83	-0.20	1.034	1.352
3	0.500	⇒	0.83	-0.20	0.953	1.626

Confirmando para el valor  $M_K$  lo expuesto anteriormente.

Los valores  $M_m$  y  $\Phi$  son análogos a los obtenidos para defectos planares superficiales, cuya formulación analítica puede obtenerse según Newman-Raju. Aceptando una morfología estándar del defecto  $a / 2c = 0.1$ , con longitud del defecto diez veces superior a su profundidad se obtendrá:

$$\Phi = \sqrt{1 + 4.64 \cdot \left(\frac{a}{c}\right)^{1.65}} = 1.050$$

$$M = M_1 + M_2 \cdot \left(\frac{a}{B}\right)^2 + M_3 \left(\frac{a}{B}\right)^4$$

$$M_1 = 1.13 - 0.09 \cdot \left(\frac{a}{c}\right) = 1.112$$

$$M_2 = \frac{0.89}{0.2 + \left(\frac{a}{c}\right)} = 2.225$$

$$M_3 = 0.5 - \frac{1}{0.65 + \left(\frac{a}{c}\right)} = -0.676$$

Obteniéndose finalmente para el valor de K en función de la profundidad del defecto:

a(mm)	K <sub>Iaplicado</sub> ( N/mm <sup>3/2</sup> )
0.1	1.29 $\sigma_{aplicada}$
0.5	1.84 $\sigma_{aplicada}$
1	2.35 $\sigma_{aplicada}$
2	3.34 $\sigma_{aplicada}$
3	4.53 $\sigma_{aplicada}$

Análogamente a lo expuesto, una tensión de sollicitación media de 80 Mpa , aplicable tanto a las aleaciones Al-Mg-Si como a las Al-Mg producirá un valor de K<sub>Iaplicado</sub> entre 103 N/mm<sup>3/2</sup> para profundidades de grieta de 0.1 mm y K<sub>Iaplicado</sub> de 362.4 N/mm<sup>3/2</sup> para profundidades de 3mm, valores siempre inferiores al K<sub>material</sub> y, por tanto, el mecanismo de rotura del componente se producirá por falta de resistencia estática del ligamento resistente y no por efecto del defecto de mordedura. El cálculo, por tanto, del tamaño de defecto aceptable en sollicitación estática sería realizado por consideraciones de resistencia del ligamento remanente en el espesor.

Dado que el límite elástico de las aleaciones Al-Mg puede estimarse en 253 N/ mm<sup>2</sup> para una tensión de 80 N/mm<sup>2</sup> el factor de seguridad sobre cálculo es superior a 3, por tanto, con la mitad del espesor resistente del componente podría mantener su resistencia mecánica. Análogamente lo expuesto podría extenderse a las aleaciones Al-Mg-Si con límite elástico estimado de 271 N/mm<sup>2</sup>.

Dada la relación existente entre el valor de la tensión de sollicitación y el valor obtenido para el factor de intensificación K, los resultados son extrapolables para otros valores a considerar de la tensión de sollicitación.

Estudiamos la valoración de este tipo de unión soldada solicitada a fatiga. Este tipo de uniones es considerado en diseño como pertenecientes a las categorías Q 5 (G) o Q6 (W) según se considere la soldadura como de penetración completa o incompleta. Según lo expuesto anteriormente consideremos un defecto inicial de 0.1 mm con morfología  $\frac{a}{2c} = 0.1$  que propaga hasta 3 mm (mitad del espesor de la chapa) considerado como límite máximo aceptable. Según la figura 27 para el defecto inicial:

$$\frac{a}{B} = \frac{0.1}{6} = 0.017$$

se obtiene un defecto equivalente efectivo:

$$\bar{a} = 0.007.$$

Resultando:

$$\bar{a} = 0.042 \text{ mm}$$

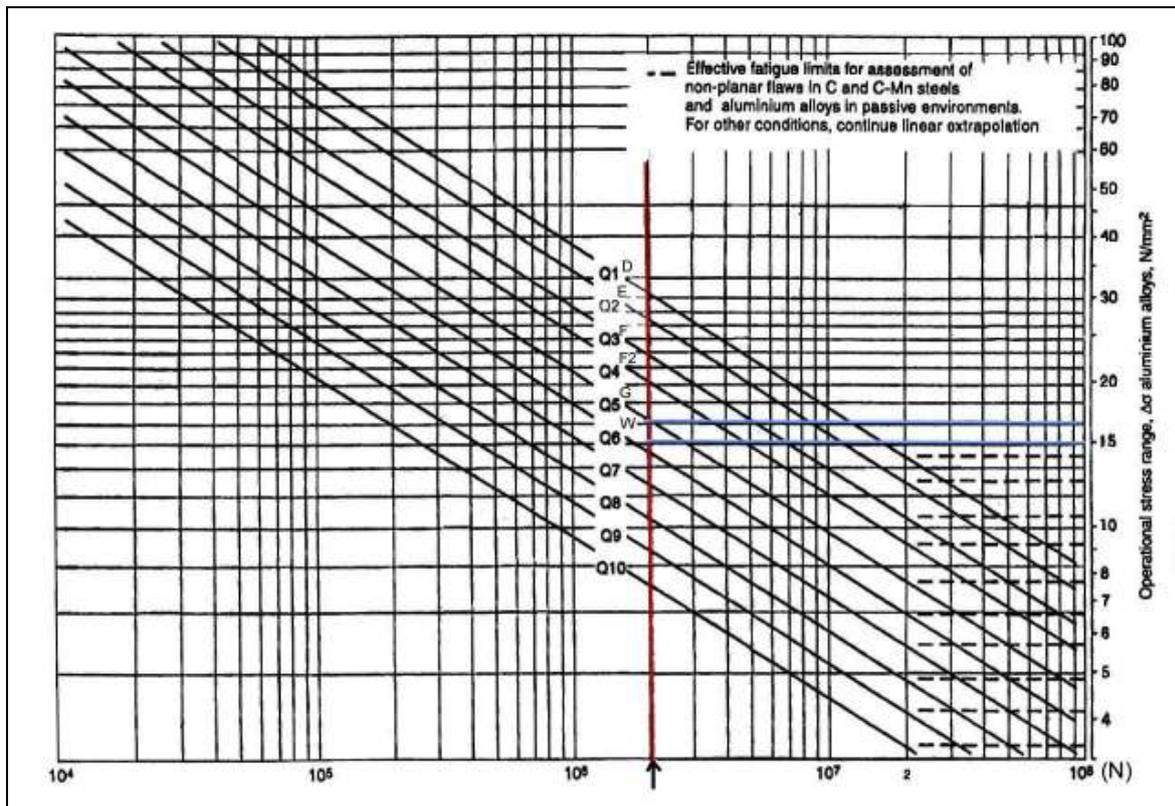


Figura 27

Análogamente para el tamaño de defecto inicial de 3 mm resultará:

$$\frac{a}{B} = \frac{3}{6} = 0.5 \quad \Rightarrow \quad \frac{\bar{a}}{B} = 0.3$$

$$\bar{a} = 1.8 \text{ mm}$$

Considerando que la distancia entre pies más alejados de los cordones de soldadura, para este tipo de uniones se mantendrá entre 22 y 30 mm, ( $\frac{L}{B} = 3.67$  ó  $\frac{L}{B} = 5$ ), puede observarse en la figura 28 que para el defecto inicial:

$$S_i = \frac{50}{3} = 16.67 \text{ MPa}$$

correspondiente a la categoría Q5 y para el defecto final:

$$S_m = \frac{23}{3} = 7.66 \text{ MPa}$$

correspondiente a la categoría Q10. Por tanto :

$$S = (S_i^3 - S_m^3)^{1/3} = (16.67^3 - 7.66^3)^{1/3} = 16.22 \text{ MPa}$$

Según la figura 29 el defecto sería aceptable para la consideración de la unión como categoría Q6 (W), al resultar una tensión de valoración del defecto superior a la exigida para la categoría Q6 (W) de 14 MPa.

La categoría de unión soldada Q5 (6) requiere una tensión de 17 MPa, lo que hace considerar esta profundidad del defecto de mordedura como valor límite aceptable.

Si la profundidad del defecto inicial fuese de 0.5 mm, con  $\left(\frac{a}{B}\right) = 0.083$  y  $\bar{a} = 0.45 \text{ mm}$ , se obtendría un defecto de categoría Q6 con:

$$S_i = \frac{43}{2} = 21.5 \text{ MPa}$$

y :

$$S = (S_i^3 - S_m^3)^{1/3} = (21.5^3 - 7.66^3)^{1/3} = 19.5 \text{ MPa} \approx 14 \text{ MPa}$$

lo que haría considerar esta profundidad de defecto como límite de categoría Q6 (W).

Como conclusión puede establecerse que una unión soldada proyectada como unión tipo Q5 (G) proyectada para sollicitación a fatiga con intervalo de tensión de 17 MPa, podría aceptar una profundidad de mordedura de 0.1 mm.

Una consideración de la unión en categoría inferior de diseño Q6 (W) con intervalo de tensión en proyecto de 14 MPa permitiría aceptar la profundidad de mordedura hasta los 0.5 mm.

### Uniones desalineadas

En las uniones soldadas estudiadas procedentes de producción y de laboratorio no se han detectado defectos de desalineación entre chapas, tanto en su consideración axial como angular. Los sistemas de posicionado de las chapas prácticamente impiden que estos defectos puedan producirse. No obstante, en trabajos de reparación o soldaduras de campo pueden originarse estos defectos, que incrementarán la tensión de cálculo transversal en la zona de desalineación a que se encuentra sollicitada la unión, tanto en uniones a tope como en ángulo, ya que generalmente se produce un efecto de flexión en la junta soldada.

El efecto de este desalineamiento puede expresarse en términos de un factor  $K_m$  por el que se magnifica el intervalo de tensión aplicado a la unión soldada. Este factor puede expresarse como:

$$K_m = \frac{\sigma_{\text{solicitud}} + \sigma_{\text{desalineación}}}{\sigma_{\text{solicitud}}} = 1 + \frac{\sigma_{\text{desalineación}}}{\sigma_{\text{solicitud}}}$$

considerando  $\sigma_{\text{solicitud}}$  la tensión existente sin considerar la desalineación y  $\sigma_{\text{desalineación}}$  la producida por este efecto. En la figura 30, se indican algunos de los casos más representativos de uniones soldadas entre chapas, que producen incremento de tensión por desalineación en la unión o por realizarse la unión con diferentes espesores de material, no manteniendo en línea los ejes centrales de los espesores.

Esta tensión de flexión no es inducida en soldaduras continuas sollicitadas bajo tensión longitudinal a la soldadura o en uniones sollicitadas únicamente a flexión. En estos casos el límite permitido para la desalineación es muy amplio, ya que su contribución a la adecuación al servicio de la unión como severidad de defecto es muy pequeña.

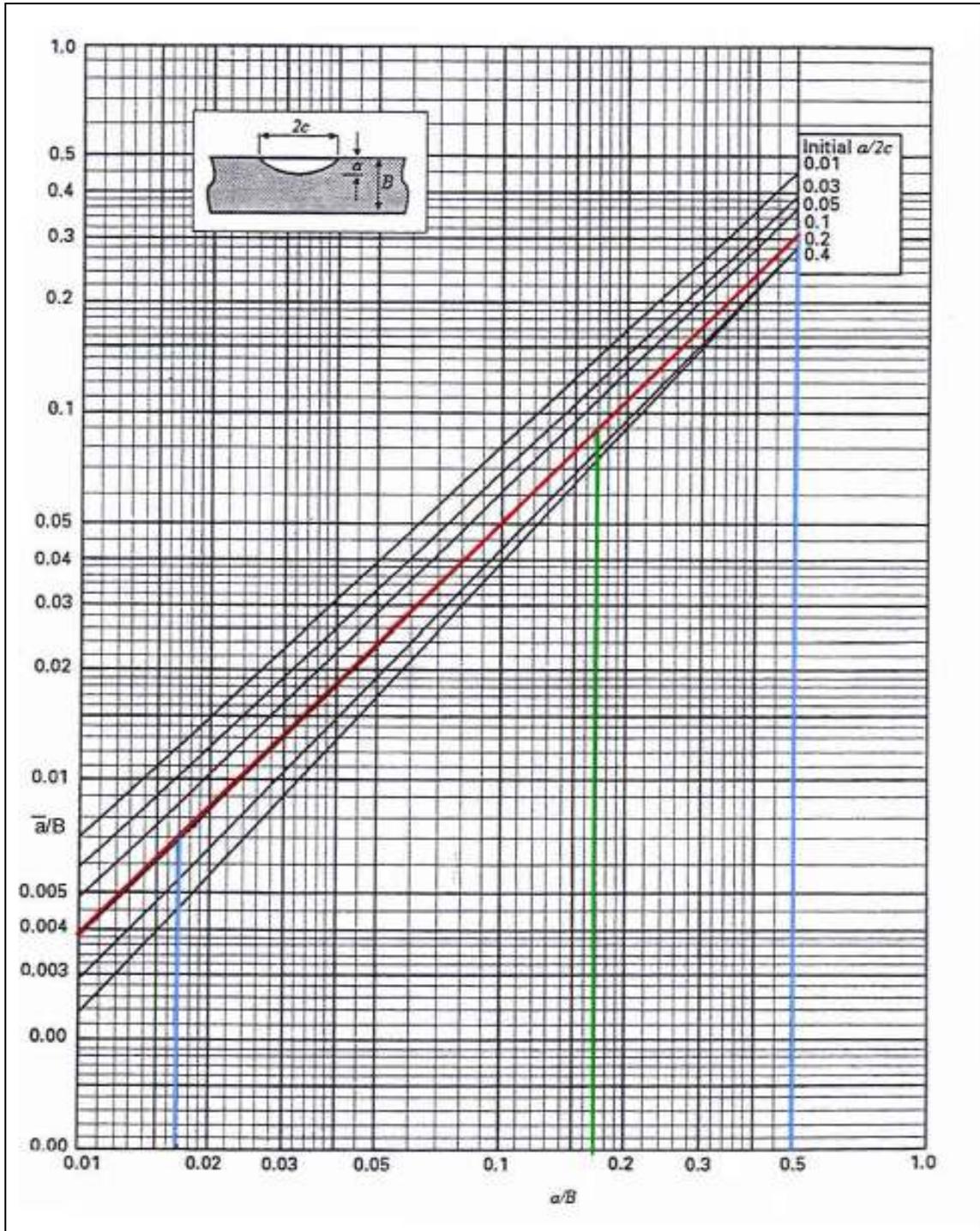


Figura 28

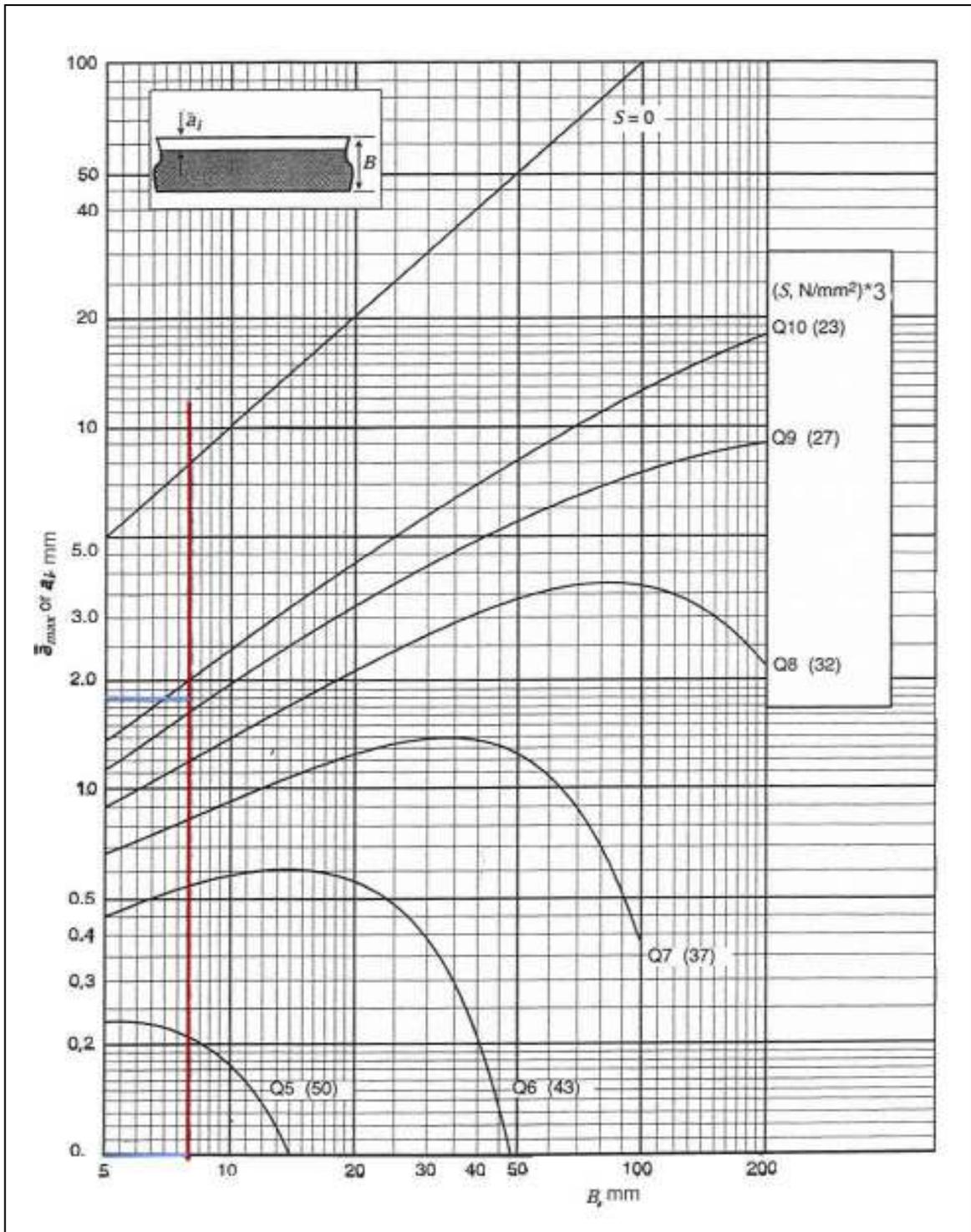


Figura 29



Las fórmulas más usuales aplicadas a las uniones soldadas pueden resumirse en las aplicaciones prácticas siguientes:

- ✧ Desalineación axial entre chapas planas de igual espesor

$$\frac{\sigma_{\text{desalineación}}}{\sigma_{\text{solicitud}}} = \frac{\lambda \cdot e}{2B}$$

con  $\lambda$  dependiente del grado de embridamiento de la unión, considerando  $\lambda=6$  para uniones soldadas libres y  $\lambda=3$  para uniones embridadas.

$e$  = desalineación

$B$  = espesor de material

- ✧ Desalineación axial entre chapas con diferente espesor

$$\frac{\sigma_{\text{desalineación}}}{\sigma_{\text{solicitud}}} = \frac{6 \cdot e}{B_1} \cdot \frac{B_1^{1.5}}{B_1^{1.5} + B_2^{1.5}}$$

$e$  = desalineación

$B_1$  y  $B_2$  espesores de material ( $B_2 \geq B_1$ )

- ✧ Desalineación angular entre chapas

$$\frac{\sigma_{\text{desalineación}}}{\sigma_{\text{solicitud}}} = \frac{6 \cdot e}{B} \cdot \frac{\tanh(\beta)}{\beta}$$

$e$  = desalineación

$$\beta = \frac{L}{B} \sqrt{\frac{3 \cdot \sigma_{\text{solicitud}}}{E}}$$

$L$  = Longitud transversal de la zona desalineada

$B$  = espesor del material

$E$  = módulo de Young

- Uniones solicitadas a fatiga con desalineación angular en uniones soldadas a tope o en ángulo, con grieta iniciada en el pie de soldadura.

$$\frac{\sigma_{\text{desalineación}}}{\sigma_{\text{solicitación}}} = \lambda \cdot \frac{\alpha \cdot L_1 \cdot L_2}{B \cdot (L_1 + L_2)}$$

Ver figura 31

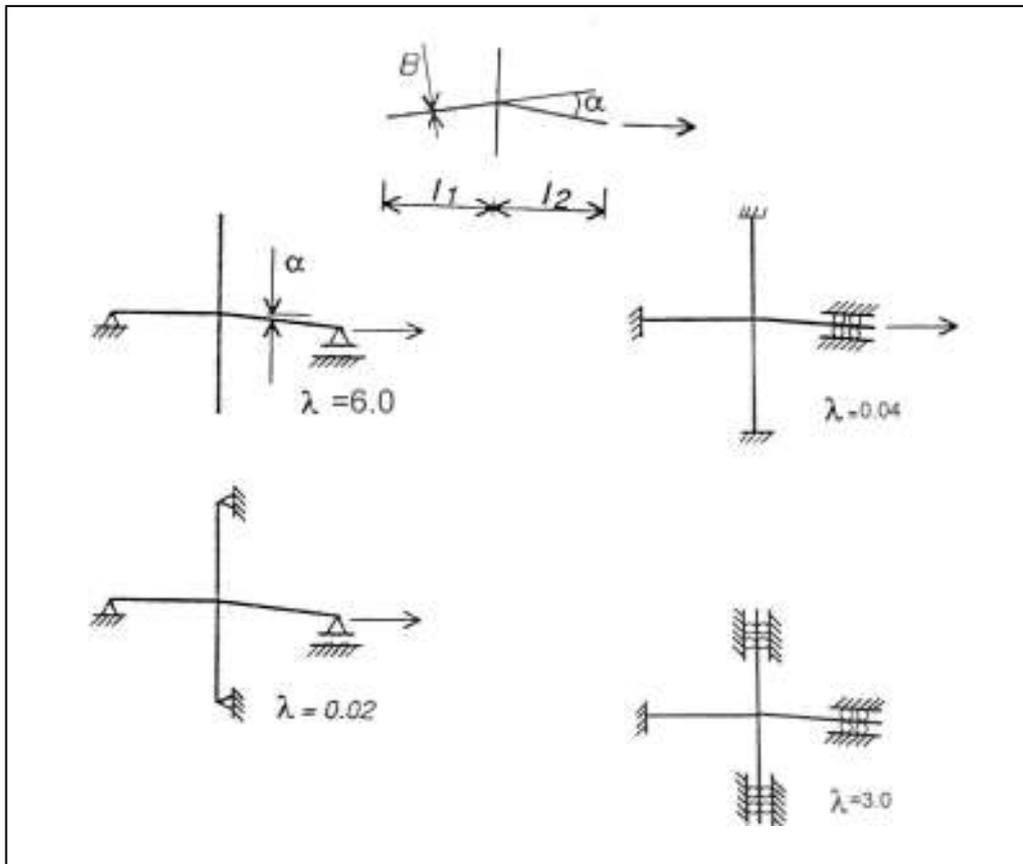


Figura 31

- Uniones solicitadas a fatiga con desalineación axial en uniones soldadas a tope o en ángulo, con grieta iniciada en el pie de la soldadura.

$$\frac{\sigma_{\text{desalineación}}}{\sigma_{\text{solicitación}}} = \lambda \cdot \frac{e \cdot L_1}{B \cdot (L_1 + L_2)}$$

Ver figura 32

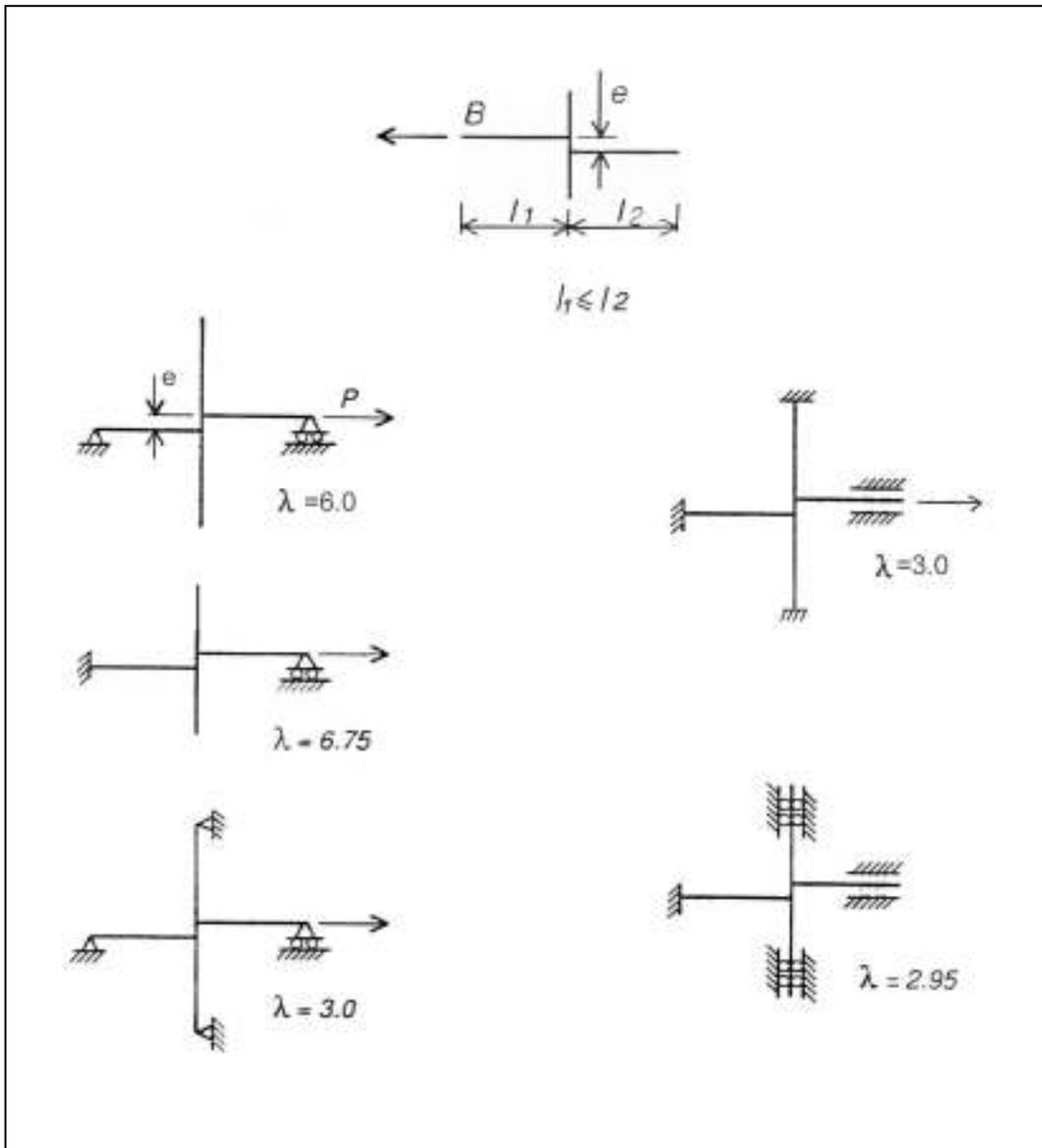


Figura 32

- ◇ Uniones solicitadas a fatiga con desalineación axial en uniones soldadas en ángulo, con grietas iniciadas en la raíz de la soldadura y propagadas por el material de aportación (soldadura).

$$\frac{\sigma_{\text{desalineación}}}{\sigma_{\text{solicitud}}} = \frac{e}{B + h}$$

Ver figura 33

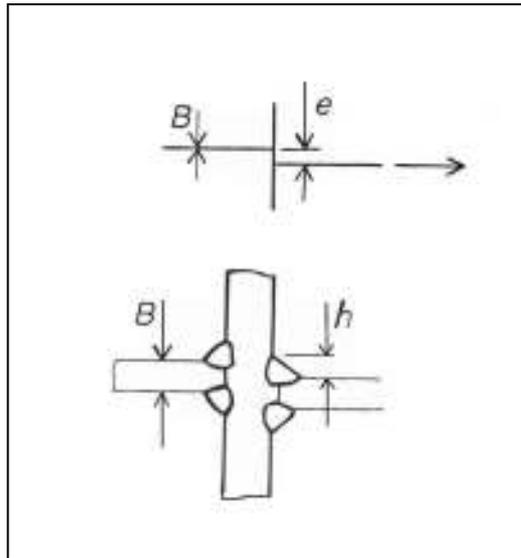


Figura 33

En la fase de fabricación con soldaduras realizadas en chapas de 10 mm de espesor, no pueden esperarse desalineaciones superiores a 1 mm. En este caso extremo, el incremento a considerar por desalineación será de :

$$\Delta\sigma = \frac{6 \cdot 1}{2 \cdot 10} = 0.3$$

lo que puede suponer un incremento del 30% sobre los valores estimados de tensión de no considerar este efecto, tanto para uniones estáticas como en las solicitadas a fatiga y este incremento representa reconsiderar la categoría de las uniones soldadas, ya que incrementos de tensión producidos por desalineaciones suponen rebajar la categoría de diseño de la unión en una o dos clases.

Defectos de desalineación entre chapas deben limitarse como máximo al 5% del espesor del material a soldar y debe recomendarse la importancia de la colocación de gálipos de ajuste entre chapas en la fase de preparación de bordes de la unión antes de proceder a la realización de la soldadura. En este mismo sentido, debe establecerse la importancia en la alineación de las chapas para uniones en cruciformes, especialmente en uniones solicitadas a fatiga, donde pueden obtenerse incrementos de tensión sobre el teórico de cálculo del orden del 5%, como puede ocurrir en uniones en cruz de 10 mm de espesor con desalineación de 1 mm, ya que:

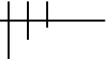
$$\frac{\sigma_{\text{desalineación}}}{\sigma_{\text{solicitud}}} = \frac{1}{(10 + 8)} = 0.055$$

La desalineación entre ejes de chapas con diferente espesor que han de ser soldadas, constituye también un factor incremental de la tensión a considerar sobre la teórica establecida en proyecto. En efecto, puede comprobarse que una desalineación de 1 mm en la soldadura entre chapas de 10 y 12 mm origina un incremento en la tensión del 26% y la misma desalineación en una unión entre chapas entre 10 y 15 mm, incrementa la tensión a considerar en la unión en el 21%.

En la sollicitación a fatiga el efecto de desalineación, medido por el factor  $K_m$ , puede suponer disminuir la categoría de calidad de la unión con respecto a la categoría inicialmente prevista en proyecto. En este sentido, si consideramos la unión inicialmente como clase Q1 (S=30) y el factor  $K_m$  resultase mayor se 1.11, la unión se rebajaría a la categoría Q2 (S=27) y si  $K_m \geq 1.25$ , la clase resultante sería la Q3 (S=24). Estos valores de  $K_m$  son obtenidos como cociente entre los intervalos de tensión asociados a cada clase.

No obstante y basado en la experiencia práctica de uniones soldadas a tope con sollicitación transversal, un factor  $K_m = 1.3$ , se considera ya englobado en las curvas de diseño S-N, ya que este factor está inherente en la propia realización de las probetas y, por tanto, hasta este valor, no debe ser considerado el efecto de desalineación.

Análogamente en uniones cruciformes, una desalineación axial de hasta el 15% del espesor de la chapa, lo que supone  $K_m = 1.45$ , debe ser asumido como inherente a la unión y ya considerado en la propia resistencia de curva S-N específica.



RESUMEN Y CONCLUSIONES

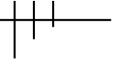


FUNDACIÓN DOMINGO MARTÍNEZ:  
*Ayudas a la Investigación Científica y Técnica. 2002-2003*

- κ Se estudian los diferentes tipos de defectos que pueden presentarse en las uniones soldadas de aleaciones de aluminio tipos Al-Mg-Si y Al-Mg soldadas con procesos MIG y TIG.
- κ En base a los criterios de aceptación /rechazo de defectos se realiza una valoración de los defectos no planares (volumétricos) y planares.
- κ Empleando criterios de mecánica de fractura se exponen los criterios modernos de valoración de defectos solicitados a tensiones mecánicas estática y de fatiga. Se consideran diferentes criterios de valoración y se estudia su forma de aplicación real a casos reales. Pueden ser establecidos criterios de ingeniería para la preparación de bases de datos previamente al inicio del trabajo de producción, sobre el nivel de aceptación de los diferentes tipos de defectos en función del grado de sollicitación del componente.
- κ Finalmente se realizan aplicaciones prácticas sobre defectos que pueden producirse en las soldaduras de aleaciones de aluminio soldadas a tope, en ángulo o cruciformes, incluyendo los defectos de desalineación en la preparación de la junta a soldar.
- κ Con respecto a Normas o Códigos de aceptación de defectos conservadores, los criterios expuestos en este estudio, basados en criterios de adecuación al servicio, permiten correlacionar la morfología del defecto con estado tensional a que está sollicitado el componente donde se ubica el defecto y con las características mecánicas y de fractura de la aleación de aluminio considerada.
- κ Mediante el estudio a fatiga puede establecerse si un determinado componente con un determinado defecto inicial podrá, en su evolución, alcanzar la vida estimada.
- κ En Anexo se incluyen datos complementarios y formulaciones de cálculo, para utilizar los sistemas de evaluación propuestos aplicables a diferentes tipos de defectos que puedan presentarse en trabajos de producción o servicio y poder realizar su evaluación.

**EVALUACIÓN DE DEFECTOS PRODUCIDOS AL SOLDAR ALEACIONES DE ALUMINIO PARA TRENES DE ALTA VELOCIDAD**

---



**BIBLIOGRAFÍA BÁSICA**

---

**FUNDACIÓN DOMINGO MARTÍNEZ:**

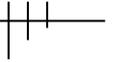
## *Ayudas a la Investigación Científica y Técnica. 2002-2003*

- κ IIW Guidance on Assessment of The Fitness for Purpose of Welded Structures. IIW/IIS-SST-1157-90.
  
- κ Fatigue design of welded joints and components.  
A.Hobbacker. Recommendations of IIW Joint Working Group XIII-1539-96/ XV-845-96. Publicado por The Welding Institute. Cambridge. England.
  
- κ Guide on methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures. BS7910:1999.
  
- κ WELDING KAISER ALUMINIUM. Kaiser Center. Oakland California 94604.
  
- κ ASM Specialty Handbook. Aluminium and Aluminium Alloys. ASM International. USA.
  
- κ ASM Handbook. Vol. 19. Fatigue and Fracture. ASM International. USA.

Cada una de las reseñas mencionadas contiene numerosa bibliografía específica sobre los diferentes temas objeto del estudio realizado.

**EVALUACIÓN DE DEFECTOS PRODUCIDOS AL SOLDAR ALEACIONES DE ALUMINIO PARA TRENES DE ALTA VELOCIDAD**

---



**ANEXO**



**FUNDACIÓN DOMINGO MARTÍNEZ:**  
*Ayudas a la Investigación Científica y Técnica. 2002-2003*