

CUADERNOS INTEMAC

Patologías frecuentes en uniones soldadas

Common problems on welded joints

Roberto Barrios Corpa
Ingeniero de Caminos
Jefe del Dpto. Edificación
Intemac

Antonio Madueño Moraño
Ingeniero Técnico Industrial
Ingeniero Internacional de Soldadura (IWS)
Jefe de la Sección Edificación
Intemac

Pedro Velázquez Lorenzo
Inspector Estructuras Metálicas
Técnico en END
Dpto. Edificación
Intemac



METIRE UT SCIAS

INTEMAC

INSTITUTO TECNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

N.º 90

2.º TRIMESTRE '13

INTEMAC



METIRE UT SCIAS

INTEMAC

INSTITUTO TÉCNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

CONTROL DE PROYECTO

CONTROL DE OBRA

GARANTÍA DE CALIDAD

(O.C.T.) CONTROL PARA EL SEGURO DE DAÑOS

INFORMES DE PATOLOGÍA, REHABILITACIÓN Y REFUERZOS DE CONSTRUCCIONES

OBRAS PÚBLICAS
EDIFICACIÓN
INSTALACIONES



INTEMAC AUDIT

AUDITORIA TÉCNICO-ECONÓMICA DE CONSTRUCCIONES

- ASESORÍA EN EL PLANTEAMIENTO Y EN LA CONTRATACIÓN DE LA OBRA
- SEGUIMIENTO DE COSTOS Y PLAZOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN
- VALORACIONES DE TERRENOS, INMUEBLES Y CONSTRUCCIONES
- AUDITORIAS DE TRABAJOS PARCIALES Y DE LIQUIDACIÓN DE LA OBRA



INTEMAC ECO

AUDITORÍA TÉCNICA MEDIOAMBIENTAL

CONTROL DE IMPACTO AMBIENTAL

Obras Públicas
Edificación
Instalaciones

CONTROL DE CALIDAD AMBIENTAL

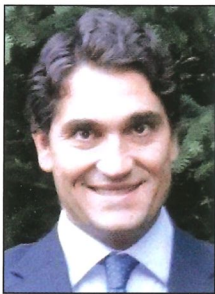
Aire
Agua
Ruido

AUDITORIA MEDIOAMBIENTAL

ASESORAMIENTO EN MATERIA DE MEDIO AMBIENTE

PATOLOGÍAS FRECUENTES EN UNIONES SOLDADAS

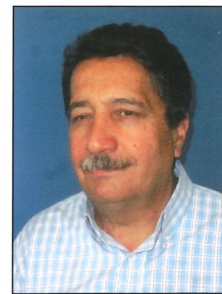
COMMON PROBLEMS ON WELDED JOINTS



Roberto Barrios Corpa
Ingeniero de Caminos
Jefe del Dpto. de Edificación de Intemac
Civil Engineer
Head of Intemac's Building Dpt.



Antonio Madueño Moraño
Ingeniero Técnico Industrial
Ingeniero Internacional de Soldadura
Bs. Mechanical Engineer
International Welding Engineer
Jefe de la Sección Edificación
Head of Intemac's Building Sect.



Pedro Velázquez Lorenzo
Inspector Estructuras Metálicas
Técnico en END
NDT Technician
Steel Structures Inspector
Intemac's Building Dpt.

Copyright © 2013, INTEMAC

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida o distribuida de ninguna manera ni por ningún medio, ni almacenada en base de datos o sistema de recuperación, sin el previo permiso escrito del editor.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in a data base or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

ISSN 1133-9365

Depósito legal: M-4699-2010
Infoprint, S.A. - San Vicente Ferrer, 40

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN
2. LOS PROBLEMAS MÁS FRECUENTES
 - 2.1 EL TAMAÑO DE LAS SOLDADURAS
 - 2.1.1 ESPEORES DE GARGANTA EN SOLDADURAS DE ÁNGULO
 - 2.1.2 ESPEORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE LAS SOLDADURAS
 - 2.1.3 UNIONES ESVIADAS
 - 2.1.4 GEOMETRÍA EN SOLDADURAS DE PENETRACIÓN
 - 2.2 LA EJECUCIÓN DE LAS SOLDADURAS
 - 2.2.1 MORDEDURAS
 - 2.2.2 FISURACIONES
 - 2.2.3 FALTAS DE FUSIÓN Y FALTAS DE PENETRACIÓN
 - 2.2.4 POROSIDAD
3. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE IMPERFECCIONES EN SOLDADURAS
4. CONCLUSIONES

CONTENTS

1. INTRODUCTION
2. THE MOST COMMON PROBLEMS
 - 2.1 WELD SIZE
 - 2.1.1 FILLET WELD THROAT THICKNESS
 - 2.1.2 MAXIMUM AND MINIMUM WELD THICKNESSES
 - 2.1.3 SKEWED JOINTS
 - 2.1.4 GEOMETRY IN PENETRATION BUTT WELDS
 - 2.2 WELDING
 - 2.2.1 UNDERCUTS
 - 2.2.2 CRACKS
 - 2.2.3 LACK OF FUSION AND PENETRATION
 - 2.2.4 POROSITY
3. ACCEPTABILITY CRITERIA FOR WELD IMPERFECTIONS
4. CONCLUSIONS

ABSTRACT

The execution of welds is possibly one of the aspects that require further attention in the construction of steel structures, routinely detecting defects during such welding operations and being very wide the possible casuistry of pathologies.

This paper highlights in a practical way some of the major defects that are detected in quality control activities of the welds establishing also acceptance and rejection criteria for such defects.

1. INTRODUCTION

Welding, one of the most complex processes in steel structures, is the area that calls for the most attentive design and construction. INTEMAC's experience confirms that the origin of a fairly large share of the pathologies affecting steel structures lies in joints, and more specifically, in welds.

This review intends not to address the full spectrum of welding defects, but simply to highlight the ones most frequently observed in quality control.

It provides a description of the flaws associated with structures consisting of steel shapes and plates ranging in quality from S275JR to S355J2 and standardised fine grain S460 N/NL structural steel. The welding procedures discussed include shield metal arc welding (SMAW), gas metal arc welding (GMAW), flux cored arc welding (FCAW) and submerged arc welding (SAW).

2. THE MOST COMMON PROBLEMS

2.1 WELD SIZE

2.1.1 Fillet weld throat thickness

One of the most common geometric flaws in (T, corner and lap) fillet welds is insufficient throat thickness¹. Some of the reasons for this flaw are described below.

Lack of welding material

The first cause of insufficient throat thickness¹ is a lack of filler material, which fails to reach the specified dimensions (Figure 1).

¹ Throat thickness in fillet welds: height, measured perpendicularly to the outer face of the weld, of the largest triangle that be drawn between the fused surfaces of the elements and the outer face of the weld.

RESUMEN

La ejecución de soldaduras es posiblemente uno de los puntos que mayor atención requiere en la construcción de estructuras metálicas, detectándose de manera habitual defectos durante dicha ejecución y siendo la casuística de posibles patologías muy amplia.

En el presente documento se destacan de manera práctica algunos de los principales defectos que se detectan en la realización de actividades de control de calidad relativos a la ejecución de las soldaduras estableciendo asimismo criterios de aceptación-rechazo para dichos defectos.

1. INTRODUCCIÓN

En el proyecto y ejecución de estructuras metálicas posiblemente sea la soldadura el proceso que presente una mayor complejidad y requiera la mayor atención. La experiencia de INTEMAC confirma que un número elevado de las patologías que se producen en las estructuras metálicas tienen su origen en las zonas de la unión y, en especial, en las soldaduras.

La casuística y tipos de defectos asociados a la soldadura es muy amplia no pretendiendo el presente documento abordar de manera global todos los defectos que pueden presentarse sino destacar de una manera práctica aquellos que con más frecuencia hemos ido observando en las actividades de Control de Calidad.

Se expondrán los principales defectos asociados a estructuras formadas por perfiles metálicos y chapas laminadas de calidad S275JR hasta S355J2 y aceros soldables de grano fino en condición de normalizado S460 N/NL. Los procesos de soldadura considerados serán: arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW), con gas de protección e hilo macizo/tubular (GMAW), con hilo tubular autoprotegido (FCAW) y con arco sumergido (SAW).

2. LOS PROBLEMAS MÁS FRECUENTES

2.1 EL TAMAÑO DE LAS SOLDADURAS

2.1.1 Espesores de garganta en soldaduras de ángulo

Uno de los defectos geométricos más habituales en las soldaduras de ángulo (en T, en esquina y a solape) es la falta de espesor de garganta. A continuación se muestran diferentes causas de este tipo de defecto:

Escasez de material de aportación

El caso básico de falta de espesor de garganta¹ lo constituye la escasez de material de aportación, que no alcanza las dimensiones especificadas (Figura 1).

¹ Espesor de garganta de un cordón en ángulo: altura, medida perpendicularmente a la cara exterior de la soldadura, del triángulo de mayor dimensión entre los que se puedan inscribir entre las superficies de las piezas que hayan alcanzado la fusión y la superficie exterior de la soldadura.



Figure 1. Paucity of filler material
Figura 1. Escasez de material de aportación

Excessive gaps between the elements to be welded

When the gap between the edges to be joined in fillet welds is over 2 and under 5 mm, the effective throat size is found by subtracting the gap value. The resulting throat is often thinner than specified. Moreover, where the gap is greater than 5 mm, fillet welding is regarded as unsuitable (Figure 2).



Figure 2. Excessive gaps
Figura 2. Separaciones excesivas

The following solutions may be implemented in such situations.

Where insufficient filler material was used, the remedy consists simply of adding to the throat thickness by re-welding, bearing in mind the following precautions: The slag, along with any rust, grease, paint or galvanising, must be removed from the existing weld and the filler material applied in the new beads must be identical or similar to the one used in the original weld. Where the existing thickness is close to the minimum possible, the bead should be inspected before proceeding to the aforementioned repair to verify the absence of cracks, as described in later sections.

Where the elements to be joined are separated by a gap, the situation is somewhat more complex. Four situations may be distinguished.

1. Where the gap between the edges is under 2 mm, a fillet weld is regarded as valid and the weld throat is found as the height of the bead triangle, as if the two elements were actually abutted.
2. Where the gap is over 2 and under 5 mm, the elements may be fillet welded. In this case, the throat thickness is found as the height of the bead triangle less the gap height. The weld may, then, be allowable if the leg length is increased by the size of the gap (Figure 4).

Separaciones excesivas entre los elementos a unir

Cuando la separación entre los bordes a unir en uniones de ángulo es mayor de 2 mm y menor de 5 mm, el valor de garganta efectiva se ha de determinar descontando del lado del cordón el valor de la holgura existente. Esto implica en multitud de casos un espesor de garganta inferior al especificado. Asimismo en caso de separaciones mayores a 5 mm la soldadura de ángulo no se considera válida (Figura 2).

Frente a estas situaciones es posible actuar como se expone seguidamente:

En el caso de escasez de material de aportación la solución resulta sencilla aumentando el valor del espesor de garganta recreciéndolo mediante soldadura, teniendo en cuenta las siguientes precauciones: Eliminar previamente la cascarilla de la soldadura existente así como óxidos, grasas, pinturas o galvanizados y emplear para el recargue el mismo material de aportación o similar con el mismo procedimiento de soldadura. En caso de que el espesor existente presente un valor próximo al mínimo posible se recomienda la inspección del cordón de manera previa a la reparación comentada para verificar la ausencia de fisuraciones, de acuerdo con lo comentado en siguientes apartados.

En el caso de la existencia de separaciones entre los elementos a unir la situación es algo más compleja, pudiéndose distinguir:

1. Separación entre los bordes es menor de 2 mm: la situación se considerara válida para la ejecución de una soldadura de ángulo y la garganta de la soldadura se determinará mediante la altura del triangulo inscrito en la soldadura, al igual que en caso de estar en contacto.

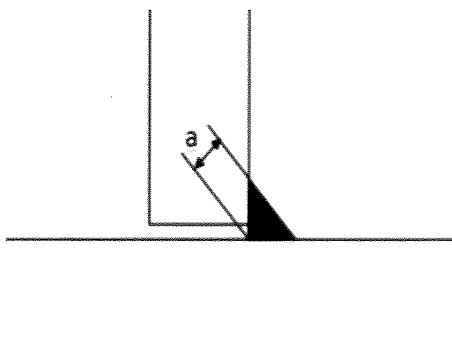


Figura 3. Separación inferior a 2mm
Figure 3. Gap of under 2 mm

2. Separación mayor a 2 mm e inferior a 5 mm: la situación se considerará válida para la ejecución de una soldadura de ángulo y la garganta de la soldadura se determinará mediante la altura del triangulo inscrito en la soldadura descontando la holgura existente, por lo que la soldadura podría resultar admisible siendo aumentada en la correspondiente proporción de los lados del cordón en el valor de la holgura existente (Figura 4).

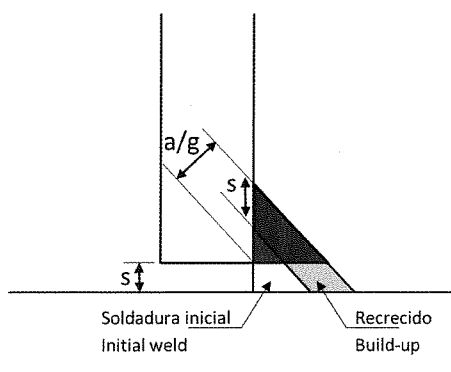


Figura 4. Separación superior a 2 mm e inferior a 5mm
Figure 4. Gap over 2 and under 5 mm

3. Where the gap is over 5 and under 8 mm, fillet welding is regarded as unsuitable and must be replaced by a penetration butt weld backed by a flatbar and guaranteed by a specific welding procedure (Figure 5).

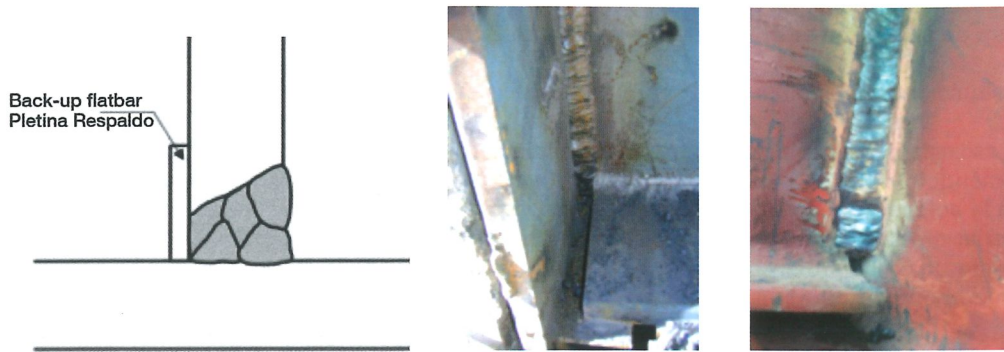


Figure 5. Gap over 5 and under 8 mm
Figura 5. Separación superior a 5 mm e inferior a 8mm

4. Gaps of over 8 mm must be reduced to under 2 mm by a specific welding procedure, after which the respective fillet weld may be made between the member and the fill (Figure 6).

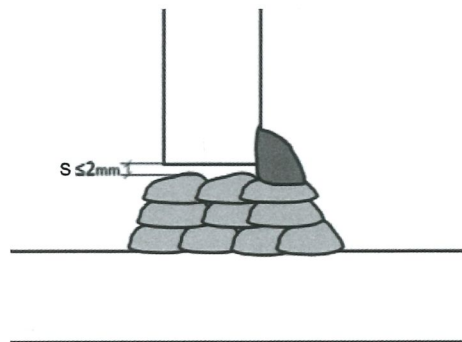


Figure 6. Gap of over 8 mm
Figura 6. Separación superior a 8 mm

Two commonly attempted remedies for this situation are to extend the element with uncontrolled filling or to position sheet metal fillers in the gap. Such solutions are normally regarded as inadmissible, for in the former case the fill is usually unsuitable and the conditions needed to proceed to the latter are seldom in place. The cases observed have never proven successful, particularly given that the heat generated as a result of the proximity of the two welds may have an adverse effect on the steel structure (Figure 7).

Depending on the structural approach applied, other solutions may be adopted when the gap is too large. Secondary beams, for instance, may be joined with previously designed and dimensioned side or angle cover plates (Figure 8).

2.1.2 Maximum and minimum weld thicknesses

Weld thickness is conditioned by metallurgical factors. Welding entails extreme heat followed by cooling which, if not properly controlled, may lead to variations in the metallographic characteristics of the base metal and filler material.

Large size welds overheats the steel and may perforate or cause metallurgical damage to the welded elements. Overheating during welding also induces detrimental strain and possible residual stress during cooling.

3. Separación mayor a 5mm e inferior a 8 mm: la soldadura de ángulo no se considera válida, será preciso sustituirla por una soldadura de penetración con pletina de respaldo y deberá estar avalada por un procedimiento de soldeo específico (Figura 5).
4. Separaciones mayores a 8 mm: se debe realizar un recargue de la holgura existente contando con un procedimiento de soldeo específico hasta que dicha holgura sea menor a 2 mm. Posteriormente se ejecutaría la correspondiente soldadura de ángulo entre el elemento y el recargue (Figura 6).

Frecuentemente se intenta solventar esta situación con recargues no controlados del elemento tratando de prolongarlo o colocando elementos añadidos intermedios como recortes de chapa a modo de relleno. Estas soluciones no se consideran admisibles en general, dado que no suelen disponer de un adecuado procedimiento de recargue en el primer caso y resultando muy difíciles unas adecuadas condiciones de ejecución en el segundo, que en los casos observados nunca han resultado positivos considerando además que ambas soldaduras están muy próximas y el calor aportado puede afectar a la estructura metálica (Figura 7).



Figura 7. Relleno inadecuado de separaciones
Figure 7. Inappropriate gap fillings

Dependiendo de la concepción estructural de la unión pueden adoptarse otro tipo de soluciones en el caso de holguras excesivas. Por ejemplo, la unión de vigas embrochadas se podría resolver mediante la colocación de cubrejuntas laterales o angulares, previamente calculados y dimensionados (Figura 8).

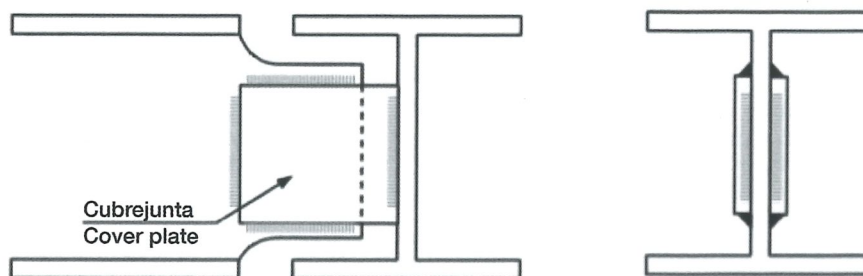


Figura 8. Solución mediante cubrejuntas laterales o angulares
Figure 8. Solution based on side or angle joint cover plates

2.1.2 Espesores máximos y mínimos de las soldaduras

Las soldaduras presentan condicionantes metalúrgicos que implican la necesidad de acotar los espesores. Durante el soldeo se produce por un lado un importante aporte térmico y por otro un posterior enfriamiento que de no ser controlados adecuadamente pueden resultar en variaciones de las características metalográficas del material base y la soldadura.

On the contrary, in throats that are much thinner than the elements to be joined, the cooling rate may be accelerated, resulting in embrittlement. That in turn may cause cracking or fusion defects.

The legislation has traditionally specified maximum and minimum weld thicknesses in terms of the thickness of the elements to be joined and banned welding where members have very different dimensions unless a specific welding procedure is applied.

2.1.3 Skewed joints

Where the members to be joined are set at angles of under 45° or over 120°, the type of weld to be applied and the preparation of the respective edges are conditioned by the need to make welds to the design thickness. An example of this situation and its satisfactory solution are described below.

Two open HE shapes abut at a node where the design calls for total strength. The two shapes form a 35° angle. The geometry is depicted in Figure 9. As the figure shows, the flanges would pose problems for fillet welds for the following reasons:

- In the welds on the acute angle side of the flange, the space is so narrow that during welding the arc “jumps” to the legs before reaching the root, reducing the actual throat thickness. Moreover, the difficulty in accessing the joint hinders proper electrode manoeuvrability, which may in turn induce a lack of fusion on the inner faces of the weld.
- In the welds on the obtuse angle side of the flange, for the throat to be acceptable, the weld would be too large.

Furthermore, due to web interference, the weld would be interrupted at the inner flange-web intersections, i.e., it would not be continuous.

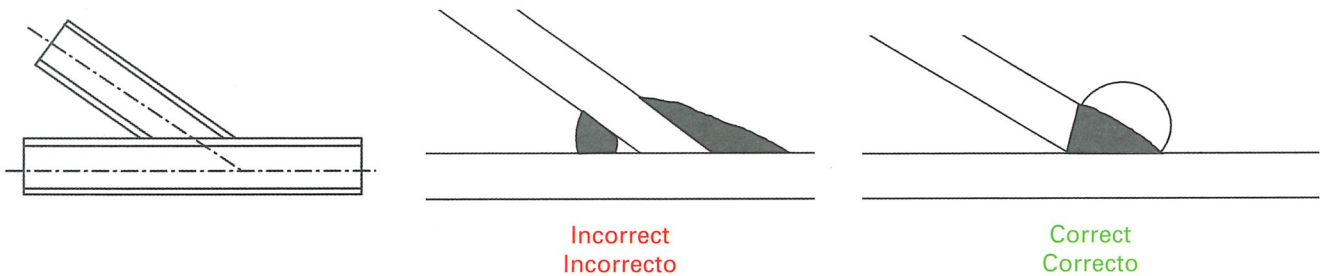


Figure 9. Nodes with skewed shapes and weld types
Figura 9. Nudos con perfiles esviados y tipos de soldaduras

This problem can be solved by adopting suitable weld types. In this case, penetration butt welds would be used at the flanges after making through-holes in the web to accommodate the bead, as shown in Figure 10.



Figure 10. Nodes with skewed shapes, penetration butt welds and through-holes
Figura 10. Nudos con perfiles esviados, soldaduras de penetración y groeras

El realizar cordones excesivos implica aportes de calor demasiado altos que puedan llegar a perforar las piezas o deteriorarlas desde el punto de vista metalúrgico. Asimismo los aportes excesivos de calor en el soldeo implican inconvenientes deformaciones y posibles tensiones residuales durante el enfriamiento.

Por el contrario espesores de garganta muy pequeños con relación a los espesores a unir pueden dar lugar a un enfriamiento excesivamente rápido de la soldadura que conlleve la fragilización del material. Esta situación puede ocasionar fisuraciones y faltas de fusión.

Con objeto de establecer límites en este sentido, la normativa ha especificado tradicionalmente espesores máximos y mínimos de las soldaduras dependiendo a su vez de los espesores de los elementos a unir, incompatibilizando la soldadura de elementos de muy diferente espesor en caso de no disponer de un procedimiento específico de soldeo.

2.1.3 Uniones esviadas

En aquellos casos en los que los elementos a unir presentan ángulos inferiores a 45° o superiores a 120° la ejecución de soldaduras con los espesores requeridos en proyecto condiciona el tipo de soldadura a realizar y la preparación de los bordes correspondiente. Veamos un caso habitual en el que se da esta situación y cómo enfocar su correcta solución.

En un nudo se produce el encuentro de dos perfiles abiertos tipo HE estando prevista en proyecto una unión de resistencia total. El ángulo entre ambos perfiles es de 35° . La geometría del encuentro se muestra en la figura 9. Como se puede observar, la soldadura de las alas presenta problemas de soldeo en caso de pretender ejecutar las mismas con soldaduras de ángulo por los siguientes motivos:

- En el caso de las soldaduras por la cara del ala que presenta un ángulo agudo el reducido valor de éste hace que durante el proceso de soldeo el arco "salte" hacia las caras de las chapas antes de llegar al fondo lo que reduce el valor real del espesor de garganta. Adicionalmente el difícil acceso dificulta la correcta maniobrabilidad del electrodo, pudiendo provocar defectos de falta de fusión en las caras de la soldadura.
- En el caso de las soldaduras por la cara del ala que presenta un ángulo obtuso la situación implicaría la ejecución de una soldadura de dimensión excesiva para poder obtener el espesor de garganta requerido.

Adicionalmente en los encuentros de las soldaduras de las alas por su cara interior y el alma la soldadura no se podría completar en toda su longitud por la interferencia que supone el alma.

La situación puede resolverse adecuadamente con una configuración correcta de las soldaduras a realizar. Para ello las soldaduras de las alas se resolverían con penetración y una adecuada preparación de bordes, realizando groetas en los encuentros de las soldaduras con el alma para el paso del cordón. En la Figura 10 se puede observar la configuración referida.

2.1.4 Geometría en soldaduras de penetración

La aparición de defectos y espesores de soldadura insuficientes en las soldaduras de penetración tienen su origen en gran medida en una inadecuada preparación de los bordes de la soldadura antes del soldeo, la cual implica la definición de tres parámetros (Figura 11):

- Ángulos de bisel.
- Dimensión del talón.
- Separación entre elementos.

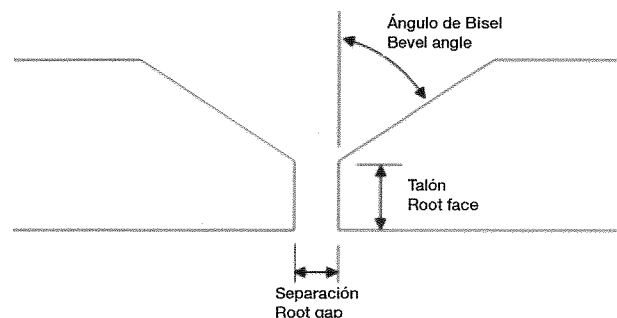


Figura 11. Detalle de preparación de bordes en soldaduras de penetración
Figure 11. Edge preparation in penetration butt welds

2.1.4 Geometry in penetration butt welds

Defects and insufficient weld thicknesses in penetration butt welds are largely induced by inappropriate pre-welding preparation of the edges. The three parameters involved are, bevel angle, root face and root gap (Figure 11).

Analogously to the preceding case, if the bevel angles are too small the arc will tend to “jump” onto the legs before reaching the root, with the concomitant lack of penetration and smaller than planned dimensions. The extreme case would be penetration butt welds with straight edges. In that situation, the penetration capacity of the weld would be limited to the energy of the welding process. The result would be penetrations measuring only a few millimetres, which in a substantial share of cases suffice as non-structural, welds only. This is hazardous and has been the cause of major pathologies and even collapse where member continuity is made to depend on such welds (Figure 12).

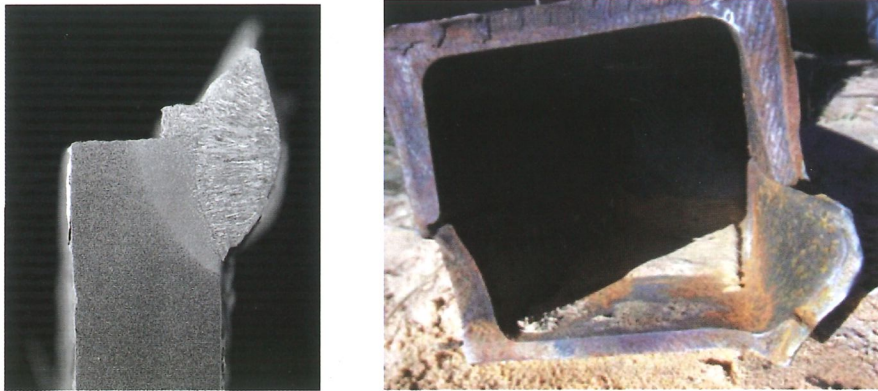


Figure 12. Edge preparation in penetration butt welds
Figura 12. Detalle de preparación de bordes en soldaduras de penetración

Inappropriate dimensioning of the root gap and face usually results in insufficient penetration and weld root defects.

When the gap is greater than planned but under 8 mm, the members can be welded if a back-up flatbar is used. If it is over 8 mm, it must be narrowed by supplementing the two edges prior to welding.



Figure 13. Excessive gaps and back-up flatbars in tube joints
Figura 13. Separaciones excesivas y disposición de respaldo en caso de unión entre tubos

De manera similar al caso expuesto en el anterior apartado, si los ángulos de bisel son demasiado pequeños el arco de la soldadura tenderá a "saltar" hacia las caras sin llegar al fondo de las mismas, lo que implicará faltas de penetración y dimensiones inferiores a las previstas. El caso límite lo constituiría el intento de ejecutar soldaduras de penetración con bordes rectos enfrentados. Esta situación implica que la soldadura limite su capacidad de penetración a la energía del proceso de soldeo resultando penetraciones de escasos milímetros que en gran porcentaje de casos responden a soldaduras no estructurales. La situación es peligrosa y ha sido motivo de importantes patologías y colapsos al tratar de conseguir continuidades en elementos con este tipo de soldadura (Figura 12).

En lo referente a la separación y dimensión de talón, medidas inadecuadas de los mismos implican habitualmente faltas de penetración y defectos en la raíz de la soldadura.

Cuando la separación es superior a la prevista, si resulta inferior a 8 mm es posible ejecutar la soldadura mediante la disposición de chapa de respaldo. En caso de ser superior es necesario aproximar bordes mediante un procedimiento específico de recargue realizando posteriormente la soldadura según la previsión inicial.

Por último cabe destacar la importancia de la correcta revisión de las preparaciones de los bordes en lo referente a la orientación de los chaflanes. Una descoordinación en dichas inclinaciones resultan en una junta no viable como se puede observar en la figura 14. En estos casos la solución implicaría la corrección de orientación en uno de los lados del chaflán, el recargue mediante el correspondiente procedimiento y su posterior soldeo.

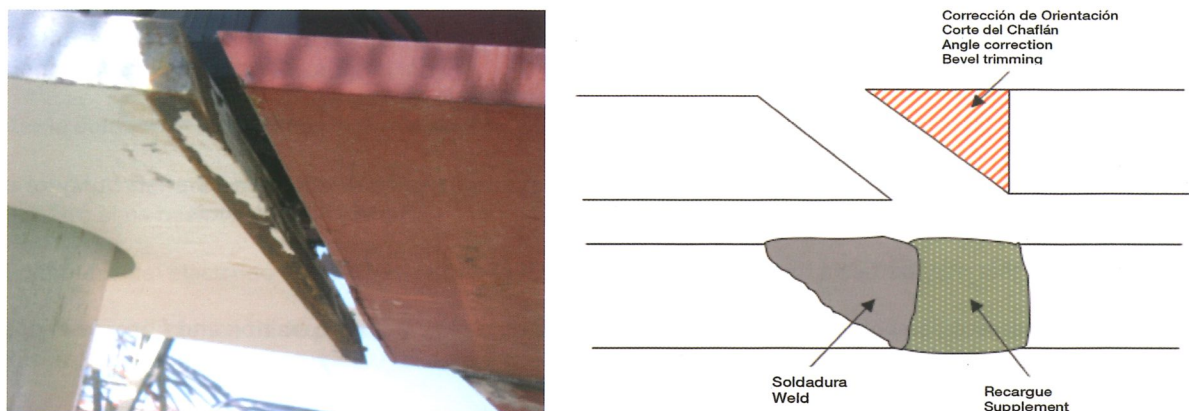


Figura 14. Orientación errónea de chaflán y proceso de reparación
Figure 14. Erroneous bevelling and repair

2.2 LA EJECUCIÓN DE LAS SOLDADURAS

2.2.1 Mordeduras

Consisten en una falta de material en forma de hendidura o surco que se puede presentar con diferentes longitudes situada a lo largo de los bordes de la soldadura en la zona de acuerdo con el material base (Figuras 15 y 16). Es bastante habitual en las soldaduras de ángulo y puede resultar peligroso si su profundidad es mayor de 0,5 mm por ocasionar posibles concentraciones de tensiones por efecto entalla.

Las causas del origen de este defecto se deben principalmente a:

- Una elevada intensidad de soldeo.
- Un diámetro excesivo del electrodo.
- Inclinación inadecuada de la pistola o electrodo excesivamente pequeño.
- Una velocidad de desplazamiento elevada.
- Un arco largo o voltaje de soldeo elevado.
- Falta de experiencia o habilidad del soldador.

Lastly, the bevels must be slanted with all due care. A poor match between members leads to non-viable joints such as shown in Figure 14. In these cases, the solution would entail correcting the slant on one of the sides, supplementing the element as required and subsequent welding.

2.2 WELDING

2.2.1 Undercuts

These flaws consist of a dent or groove along the edges of the weld in the base metal area (Figures 15 and 16). They may vary in length and are often found in fillet welds. If deeper than 0.5 mm, they may be hazardous, for the notch effect may cause stress concentration.

The primary causes of this defect are:

- High welding current (amperage)
- Oversized electrode diameter, unsuitable welder angle or under-sized electrode
- Excessive travel speed
- Long arc or high welding voltage
- Inexperienced welder

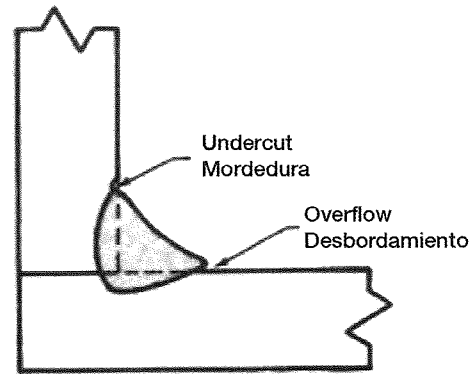


Figure 15. Undercuts
Figura 15. Mordeduras

Some precautions that may be taken to prevent these defects include:

- Choosing current, voltage and travel speed suitable for the diameter, welding position and filler material specified in the welding procedure.
- Verifying welder certifications to ensure range of qualifications, as well as welding process, welding position and filler material.
- Carefully watching bead deposit during welding, proceeding at a suitable speed.
 - Ensuring that the length of the electrical arc is approximately the electrode diameter in acidic, and half that length in basic electrodes.
 - Ensuring that the electrode diameter is appropriate for the thickness of the members to be joined.
- Correcting welder or electrode angles to attain a working angle of 40 to 50° for electrodes or fall-safe wire and 10 to 20° for gas shielding processes.

This defect can be detected by visual inspection, magnetic particle testing or penetrating fluids.

The simple remedy is to eliminate the sharp edges on the groove with a circular saw and subsequently fill the void with filler material, applying the same procedure as envisaged for welding per se.

2.2.2 Cracks

One of the most severe types of discontinuities in welded joints is flat flaws (cracks), which, due to their sharp edge, can grow under stress.

Cracks are classified by their location (Figure 17):



Figura 16. Defecto de mordedura. Ensayos por partículas magnéticas
Figure 16. Undercuts. Magnetic particle tests

Algunas precauciones de interés para evitarlas serían:

- Seleccionar la intensidad, tensión y velocidad de avance adecuadas para el diámetro, posición de soldeo y tipo de material de aportación que figuran en el procedimiento de soldadura.
- Contrastar las homologaciones de los soldadores, para verificar el rango de cualificación, proceso de soldeo, posición de soldeo, material de aportación etc.
- Realizar la soldadura observando detenidamente el depósito del cordón, imprimiendo la velocidad adecuada.
 - La longitud del arco eléctrico debe ser aproximadamente el diámetro del electrodo si es de rutilo y medio diámetro si es básico.
 - El diámetro del electrodo debe tener en cuenta el espesor de pieza a unir.
- Corregir las inclinaciones de la pistola o electrodo hasta conseguir un ángulo de desplazamiento entre 40° a 50° para electrodos o hilo autoprotegido y de 10° a 20° para procesos con protección de gas.

Este defecto puede ser detectado mediante inspección visual, ensayo por partículas magnéticas o líquidos penetrantes. La reparación se considera sencilla pudiendo efectuarse mediante la eliminación de los cantos vivos de la hendidura con máquina radial y la posterior recarga con material de aportación hasta eliminarla siguiendo el procedimiento previsto para la soldadura.

2.2.2 Fisuraciones

Entre las discontinuidades más graves que pueden existir en una unión soldada se encuentran los defectos planos (fisuras o grietas) que, al tener un extremo afilado, pueden propagarse bajo el efecto de un estado de tensiones.

Las fisuras pueden clasificarse dependiendo de su morfología en función de sus situación (Figura 17):

- Material base
- Zona afectada por el calor (ZAT)
- Cordón de soldadura

Ó según su orientación:

- Longitudinales
- Transversales

- base metal
 - heat-affected zone (HAZ)
 - weld bead
- or direction
- longitudinal
 - transverse.

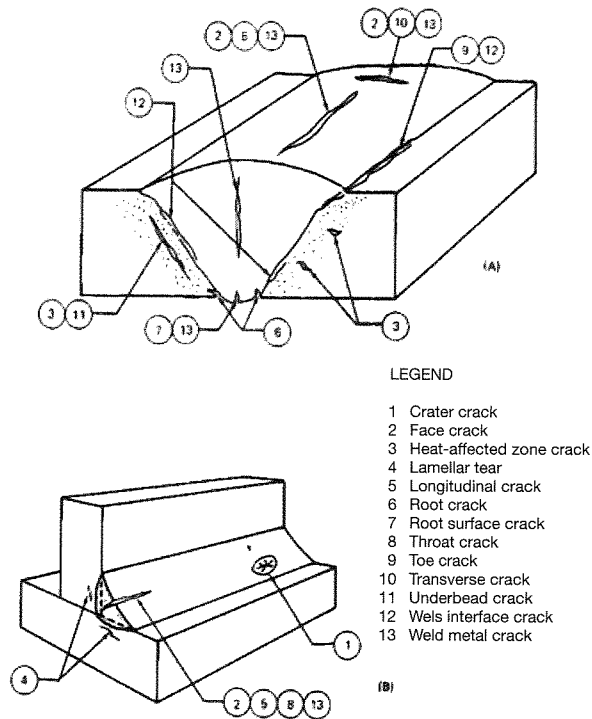


Figure 17. Crack types
Figura 17. Tipos de Fisuras

They are most commonly located in the heat-affected zone: these “under bead” cracks appear parallel to the leg and may or may not surface. Figure 18a shows an under bead crack detected by magnetic particle analysis. The material to be welded was 40mm fine grain S460 NL steel. Cracking appeared approximately 40 hours after the weld was made. The cause may have been the failure to preheat the joint to the initial 125 °C specified in the standard welding procedure in the final passes. This joint, the final weld in the assembly, was tightly clamped.

Many factors may cause cracking:

- current (amperage) too high
- high weld cooling rate, causing steel embrittlement
- residual stress (particularly in firmly clamped joints and steel plate thicknesses of over 30 mm)
- inappropriate welding sequences
- inappropriate, defective or poorly conserved filler materials
- hydrogen cracking (special care is needed for electrodes and fluxes with a basic covering after unwrapping)
- insufficient throats
- low weldability base metals
- base metals with high equivalent carbon ($C_{eq} \geq 0.46$)
- or where the edges of a joint are misaligned, inducing stress concentration.

Las más frecuentes son las longitudinales localizadas en la zona afectada por el calor, llamadas "bajo cordón" que se manifiestan paralelamente al borde de la unión y pueden aflorar o no a la superficie. La figura 18a corresponde una fisuración "bajo cordón" que fue detectada mediante la inspección por partículas magnéticas. El material a soldar era un acero de grano fino S460 NL y 40 mm de espesor. La fisuración apareció transcurridas aproximadamente 40 horas desde la terminación de la soldadura. La causa de la fisuración pudo ser que en las últimas pasadas no se aplicó la temperatura inicial de precalentamiento prevista en el procedimiento de soldeo cualificado que era de 125°C. Esta unión correspondía con la última soldadura del conjunto y el embridamiento era importante.

Son muchas las causas que provocan fisuración y pueden ser variadas:

- Excesiva intensidad de corriente de soldeo.
- Enfriamientos rápidos de la soldadura que pueden provocar la fragilización del acero.
- Tensiones residuales (atención a uniones muy embridadas y espesores de chapa mayores de 30 mm).
- Secuencias de soldeo inadecuadas.
- Materiales de aportación inadecuados, defectuosos o mal conservados.
- Agrietamiento por hidrogeno (atención a los revestimientos básicos en electrodos y fluxes una vez abiertos de sus embases).
- Gargantas insuficientes.
- Materiales base de baja soldabilidad.
- Materiales base con Carbono equivalente alto (atención $C_{eq} \geq 0.46$).
- Diseño de juntas inadecuadas, por ejemplo si el centro de los planos de dos piezas unidas no coinciden o existen desalineaciones entre los bordes de una junta que ocasionen concentración de tensiones.

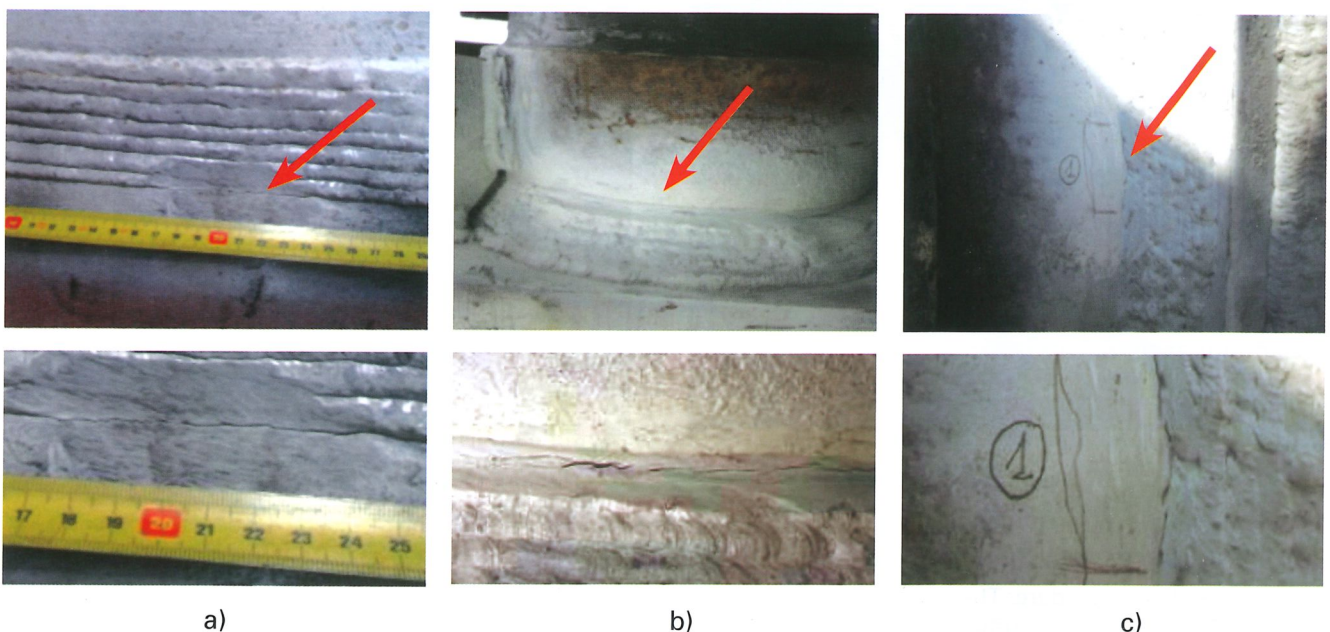


Figura 18. Defecto de fisuración longitudinal
Figure 18. Longitudinal crack

Given that joint cracking is caused by the aforementioned factors, the recommendations or precautions that may be put forward are as follows.

- The welding and joint design parameters established in standard welding procedures must be honoured.
- Welder certification must be required in specified welding procedures.
- Hydrogen cracking can be controlled by applying initial pre- and post-heating to prevent the heat-affected zone from cooling too rapidly.

Nonetheless, the most effective way to prevent hydrogen cracking is to use filler materials with low hydrogen content, such as basic electrodes or fluxes. Where such high pH protection materials are used, as a rule, once unwrapped, they should be conserved in ways that prevent moisture absorption (in ovens or kilns), given their high hygroscopicity. Moisture would add hydrogen to the weld, possibly inducing cracking.

- Close attention must be paid to thicknesses of over 30 mm and base metal equivalent carbon contents ≥ 0.46 , for given the high rate of heat release involved, the weld may cool too quickly, inducing embrittlement. In such cases, initial preheating may be necessary and in fact is always recommended. The preheat temperatures recommended here are as set out in UNE EN ISO 1011-2, "Recommendations for welding of metallic materials". Longitudinal cracks in the heat-affected zone (HAZ) are depicted in Figures 18b and c. The base metal had poor weldability and a $C_{eq} = 0.55$ and was over 200 mm thick. The weld was made without following a standard procedure and without applying suitable preheating/post-heating.
- Residual stress and strain can be reduced by applying suitable welding sequences. Double-bevelled joints can be used instead of simply running alternating beads on the two sides of the joint. V bevels may be replaced by U or J edges that require less filler material and hence induce lower strain because less energy and consequently less heat is applied to the members to be joined during welding.
- Particular care should be taken in the first few runs in multi-pass welds, for heat release is especially intense under these conditions and the high cooling rate may induce cracking (Figure 19a).

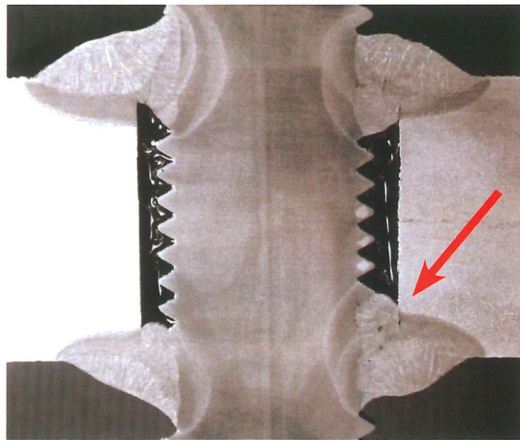


Figure 19a. First run crack
Figura 19a. Fisura en primera pasada.



Figure 19b. Provisional weld crack
Figura 19b Fisura en soldadura provisional

- Provisional assembly welds should be made to the same requisites as the others, pursuant to standard welding procedure. The weld in Figure 19b has an insufficient throat and was not made to welding procedure. This induced a longitudinal crack.
- Crater cracking is another type of defect commonly found in welding beads: it usually appears in the so-called "keyhole" area where the weld is terminated.

The main causes of this defect are abrupt interruption of the arc and high welding current. The result is that the final bead crater is not properly filled and the solidification-induced contraction generates a branched crack that shows up on the surface.

Teniendo en cuenta las causas mostradas que pueden ser origen de fisuración en las uniones, seguidamente establecemos diferentes recomendaciones o precauciones:

- Seguir y cumplir los parámetros de soldeo y diseño de juntas establecidos en los procedimientos de soldeo cualificados.
- Exigir la homologación de los soldadores en el procedimiento de soldeo especificado.
- El agrietamiento por hidrogeno puede ser controlado empleando procesos de soldeo que eviten que la zona afectada por el calor se enfríe rápidamente utilizando temperaturas iniciales de precalentamiento y efectuando post-calentamiento a la terminación del soldeo.

No obstante, la forma más eficaz de evitar el agrietamiento por hidrógeno es reducir el aporte de hidrógeno al metal de soldadura procedente de los consumibles de soldeo, empleando materiales de aporte con bajo contenido de hidrógeno como electrodos o fluxes básicos. En el caso de empleo de estos materiales de protección básica es importante recordar que con carácter general una vez abiertos los envases en que son suministrados deben ser conservados mediante sistemas que impidan la absorción de humedad por los mismos (estufa u horno), dado el carácter higroscópico que presentan, ya que en tal caso dicha humedad incorporaría hidrógeno a la soldadura pudiendo causar la fisuración igualmente.

- Prestar atención a las piezas con espesores mayores a 30 mm y contenidos de carbono equivalente del material base $\geq 0,46$ ya que dada su capacidad de disipación de calor el enfriamiento de la soldadura puede ser rápido produciéndose la correspondiente fragilización. En estos casos pueden ser necesarias y resulta siempre recomendable la aplicación de temperaturas de precalentamiento inicial. En este sentido para la obtención de los valores de temperatura a aplicar recomendamos seguir la Norma UNE EN ISO 1011-2 "Recomendaciones para el soldeo de Materiales Metálicos". En las figuras 18b y c se muestran fisuras longitudinales en la zona afectada térmicamente ZAT. El material base presentaba una mala soldabilidad, con espesor superior a 200 mm y su $Ceq = 0,55$. Se soldó sin seguir un procedimiento de soldeo cualificado y sin la aplicación de temperaturas de precalentamiento /poscalentamiento adecuadas.
- Se pueden reducir las tensiones residuales y deformaciones empleando secuencias de soldeo adecuadas a las piezas a soldar. También se pueden utilizar juntas de doble bisel en lugar de simple depositando en pasadas alternas el material de aportación a ambos lados de la unión o utilizar preparaciones de borde en U o en J en lugar de bisel simple o en V, ya que al precisar menor cantidad de material de aportación favorecen la disminución de deformaciones al ser menor la energía aportada durante el soldeo y por lo tanto los calentamientos de las piezas a unir.
- Conviene prestar especial atención en las primeras pasadas de soldaduras con pasadas múltiples puesto que en estas las condiciones de disipación del calor son las más severas y pueden enfriarse rápidamente produciendo fisuraciones (figura 19a).
- Las soldaduras provisionales de montaje deben ejecutarse con los mismos requisitos que el resto, cumpliendo el procedimiento de soldeo cualificado. En la figura 19b puede observarse que la soldadura no dispone de una garganta adecuada y no se ejecutó siguiendo el procedimiento de soldeo originándose una fisura longitudinal
- Otro tipo de defecto también habitual encontrado en los cordones de soldadura son las grietas de cráter que aparecen en las terminaciones de las mismas en la zona denominada "ojo de cerradura".

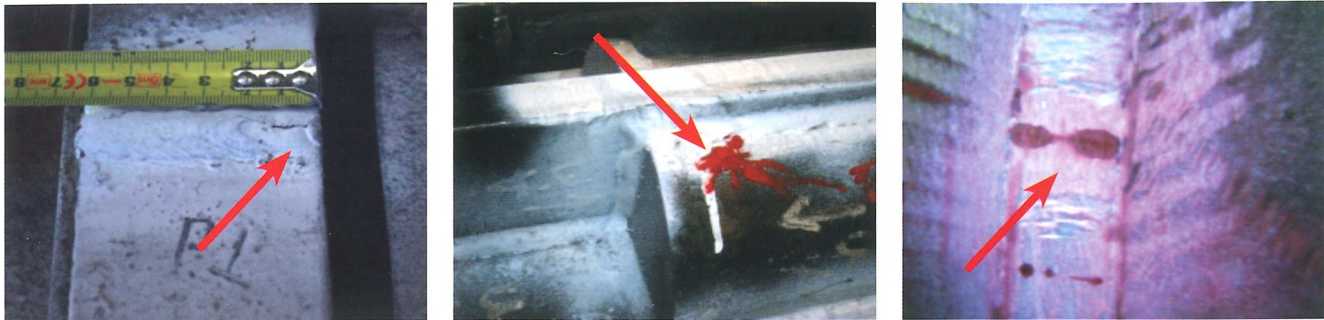
La causa principal del defecto se debe a una interrupción brusca del arco y a las elevadas intensidades de soldeo que ocasionan que el cráter final del cordón no se llene adecuadamente y las contracciones en la solidificación crean una grieta ramificada que aflora a la superficie.

La recomendación para evitar esta grieta radica en mejorar la técnica de interrupción del arco como por ejemplo dar al electrodo una inclinación contraria a la llevada durante el soldeo y retroceder unos 10 mm antes de interrumpir el arco; con este sistema logramos rellenar el cráter (Figuras 20a y 20b).

Enfriamientos rápidos motivados por condicionantes ambientales pueden también ser origen de fisuraciones. La figura 20c corresponde a una fisuración transversal. Este tipo de fisura es poco habitual y el origen fue posiblemente un enfriamiento rápido ocasionado por lluvia en el momento de la ejecución de la soldadura.

Such cracking can be prevented by improving arc interruption techniques: slanting the electrode in the direction opposite the weld direction and backing up around 10 mm before interrupting the arc. These measures ensure good crater filling (Figures 20a and b).

High cooling rates due to environmental factors may also cause cracking. Figure 20c shows a transverse crack, an unusual defect whose origin may lie in a rain-accelerated cooling rate during welding.



a)

Figures 20 a and b. Crater crack
Figura 20 a y b. Grieta de cráter

b)

Figure 20 c. Transverse crack
Figura 20 c. Fisura transversal

c)

Given the variety of crack types, positions and directions and the damage they can cause to in-service welded joints, non-destructive tests must be deployed to monitor welding. Such control should be conducted by Level 2 qualified inspectors with non-destructive test experience.

Since crack formation may be delayed, welds should not be analysed until 16 hours after termination or until 40 hours after termination where a risk of cold cracking exists, such as in the following cases:

- metal over 40 mm thick
- steel quality of over S355
- very tightly clamped beads
- steels with improved atmospheric corrosion resistance.

Not all non-destructive test methods are equally appropriate for detecting these imperfections. The recommendation is to supplement visual inspection with magnetic particle testing to detect possible surface or close-to surface cracks in conjunction with ultrasound testing, which can accurately detect plane defects. Fillet beads may also be analysed with dye penetrating tests to detect surface defects. X-ray analyses are subject to strict safety conditions.

2.2.3 Lack of fusion and penetration

In these defects, the deposited and base metals do not fuse fully at the root, on the bevel faces or between beads. This may occur because the solidified metal from the preceding pass failed to reach fusion temperature or because the filler material failed to penetrate to the root.

Fusion or penetration defects, while constituting different imperfections, may be analysed together because their origin is essentially the same.

In single-side welds, the lack of penetration has the same effect as a notch. It is a fairly serious matter for it is one of the causes of in-service weld fracture in structures exposed to dynamic loads such as pressure vessels, tanks and pipes.

Its most common cause is bevelling geometry unsuited to the welding process, although errors in the electrical parameters applied may also lead to defects. A few of the origins are listed below:

- root face too high

Teniendo en cuenta la variedad de tipos, posición y orientación que pueden presentar las fisuras y el papel tan perjudicial que desempeñan en las uniones soldadas en servicio, se hace necesario efectuar un control de la ejecución de las soldaduras mediante ensayos no destructivos por inspectores cualificados Nivel 2, con experiencia en los distintos métodos de ensayos no destructivos.

Dado que la formación de fisuración puede ser diferida, el control de las soldaduras no debe realizarse hasta transcurridas 16 horas de su terminación y este plazo debe aumentarse a 40 horas si existe riesgo de fisuración en frío como en los siguientes casos:

- Materiales de espesor mayores de 40 mm
- Aceros de calidad superior a S355
- Cordones muy embridados
- Aceros de resistencia a la corrosión mejorada

No todos los métodos de ensayos no destructivos son igualmente satisfactorios para detectar estos tipos de imperfecciones. Nuestra recomendación es, complementando a la inspección visual, el empleo de ensayo mediante partículas magnéticas para detectar las posibles fisuras que afloran al exterior o se sitúen cerca de la superficie combinando dicho ensayo con la técnica de inspección por Ultrasonidos, capaz de detectar defectos planos con garantía. Asimismo para cordones en ángulo podría emplearse para la detección de defectos superficiales el ensayo por líquidos penetrantes. Los controles radiográficos imponen condicionantes de seguridad severos.

2.2.3 Faltas de Fusión y Faltas de Penetración

El metal depositado y el base no se funden en forma integral, bien en la raíz de la soldadura, caras de bisel o entre cordones. Puede estar motivado porque el metal de la pasada precedente, ya solidificado, no alcanza la temperatura de fusión o porque el metal de soldadura no llega a alcanzar la raíz de la unión.

Los defectos de falta de fusión o de penetración aún siendo imperfecciones diferentes pueden analizarse juntos por tener prácticamente los mismos orígenes.

En el caso de soldaduras realizadas por un sólo lado la falta de penetración actúa como una entalla y reviste cierta gravedad ya que es una de las causas de rotura en servicio de soldaduras en estructuras sometidas a cargas dinámicas y en depositos a presión, tanques, tuberías, etc..

El origen más frecuente es una geometría de chaflán inadecuada al proceso de soldeo empleado, existiendo también defectos asociados a errores en los parámetros eléctricos utilizados. A continuación se muestran diferentes orígenes:

- Altura excesiva del talón del chaflán.
- Separación de raíz demasiado pequeña.
- Ángulo de bisel excesivamente agudo para el proceso de soldeo utilizado.
- Corte del chaflán realizado con oxicorte manual con irregularidades, hendiduras u óxido, que el propio proceso de soldeo utilizado no tiene capacidad para fundir y penetrar.
- Deficiente o mala accesibilidad a la raíz de la soldadura.
- Desalineaciones entre los bordes de la unión (Figura 21).

- root gap too small
- bevel angle too acute for the welding process used
- manual flame-cut bevelling with jagged, grooved or rusty edges that the welding process is unable to fuse or penetrate
- poor or deficient accessibility to weld root
- misalignment between joint edges (Figure 21).

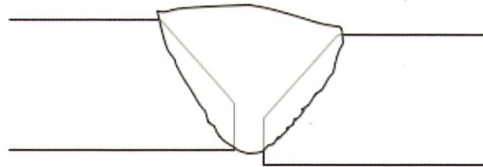


Figure 21. Penetration defects due to poor alignment
Figura 21. Defectos de penetraci3n por desalineaciones

- lack of welder skill due to carelessness, negligence or inexperience
- low current and consequently insufficient energy
- fused material cold when it reaches the base metal due to excessively long arc, sealing rather than fusing
- welding speed too fast in the root run
- root or inter-bead areas unclean or improperly prepared.



Figure 22. Penetration defects
Figura 22. Defectos de penetraci3n.

A few measures that can be taken to prevent these defects are described below.

- The welding and joint design parameters established in standard welding procedures must be honoured.
- Welder certification must be required in specified welding procedures.
- The edges and bevel angle should be defined in keeping with the thickness of the elements to be joined and WPS (welding procedure specifications).

- Falta de habilidad del soldador, por descuido, negligencia o falta de experiencia.
- Baja intensidad de corriente que ocasiona un aporte de energía insuficiente.
- Arco eléctrico excesivamente largo, que hace que el metal fundido esté ya frío cuando alcanza el metal base, creando una pegadura en lugar de una fusión.
- Velocidad excesiva de la soldadura en la pasada de raíz.
- Falta de limpieza o resanado incorrecto de la raíz o entre cordones.

Algunas medidas frente a este tipo de defectos serían:

- Seguir y cumplir los parámetros de soldeo y diseño de juntas establecidos en los procedimientos de soldeo cualificados.
- Exigir la homologación de los soldadores en el procedimiento de soldeo especificado.
- Seleccionar preparaciones de bordes y ángulo de chaflan en función del espesor a unir y del procedimiento de soldadura WPS.
- Ajustar convenientemente los equipos de soldadura, regulando su intensidad, tensión y velocidad de avance en función del espesor de las piezas a soldar, el diámetro del electrodo y la posición de soldeo.
- Cuando la junta se acometa sólo por uno de los lados y siempre que se pueda y el diseño lo permita, emplear pletinas de respaldo para garantizar la penetración y facilitar la ejecución. En el caso de sollicitaciones dinámicas recordar la necesidad de retirar las pletinas una vez completada la soldadura.
- Para juntas soldadas por ambos lados es necesario que antes de soldar por el otro lado se sane la raíz mediante radial o arco aire, para asegurar la penetración en raíz (Figura 23).

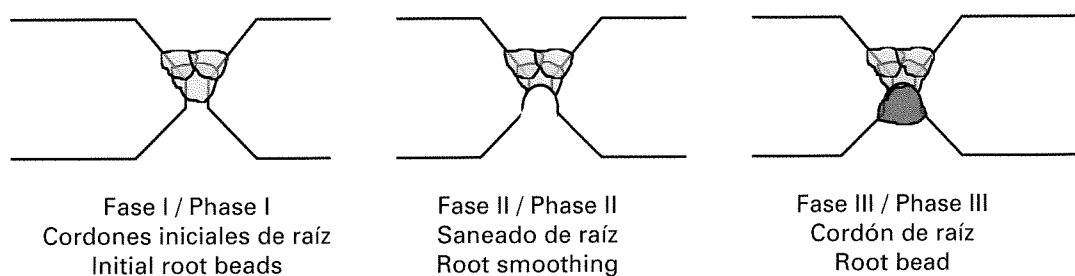


Figura 23. Soldadura en raíz en junta soldada por ambos lados
Figure 23. Weld in double-sided weld root

La falta de fusión, al igual que la falta de penetración, no son defectos que se puedan detectar mediante inspección visual ni con ensayos no destructivos de tipo superficial (líquidos penetrantes y partículas magnéticas), salvo que exista acceso al dorso de la soldadura o a los laterales de la junta (Figura 24), lo cual no es frecuente. La forma de detectar estas imperfecciones será mediante inspección por ultrasonidos o radiografías.

Los ultrasonidos permiten conocer la localización, longitud y profundidad del defecto, mientras que con la radiografía conoceremos de manera general su localización y longitud pero no su profundidad.

La reparación del defecto implica el levantando la soldadura (retirada del material de aportación y material base si procede) mediante radial, arco aire o buril automatico hasta descubrir el defecto y eliminarlo. Una vez realizada

- Welding hardware must be duly adjusted, regulating current, voltage and travel speed to the thickness of the elements to be welded, electrode diameter and welding position.
- Wherever possible and the design allowing, when the joint is welded on one side only, back-up flatbars should be used to guarantee penetration and facilitate welding. In the presence of dynamic stress, these flatbars must be removed after the weld is made.
- For joints welded on both sides, before welding on the second side the root must be smoothed with a circular saw or air arc to ensure penetration to the root (Figure 23).

Neither the lack of fusion nor the lack of penetration is a defect that can be detected by visual inspection or surface non-destructive tests (dye penetrating or magnetic particles), unless the back of the weld or the sides of the joint are exposed (Figure 24), which is not usually the case. Such imperfections must be detected by ultrasound or X-ray techniques.

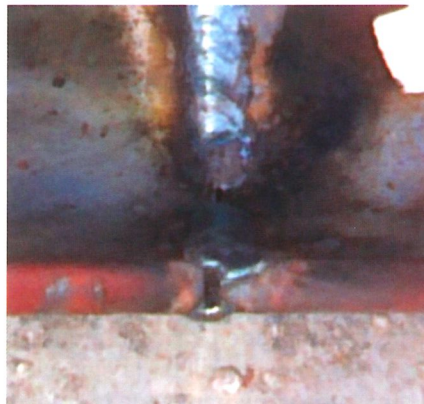


Figure 24. Side access to penetration butt weld
Figura 24. Acceso al lateral de soldadura de penetración

Ultrasonic test identifies the location, length and depth of the defect, while X-rays provide information on the general location and length, but not depth.

Repairing the defect entails detaching the weld (removing the filler material and base metal as necessary) with a circular saw, air arc or automatic chisel to the depth of the defect to eliminate it. After these repair preliminaries are performed, a penetrating fluid test must be conducted to verify that the defect has been completely removed. The final step consists of filling in the void in keeping with a standard procedure.

Another possibility, joint design and engineering permitting, would be to strengthen the joint with alternative procedures such as the use of transition cover plates (Figure 25).

2.2.4 Porosity

One of the most common imperfections in welds is the presence of porosity, also known as “bubbles”. They are induced primarily by gas-forming chemical reactions that take place in the weld pool. When beads cool rapidly the gas may be entrapped inside the weld, forming inner cavities or on the surface as the weld pool begins to solidify, forming external pores.

Porosity can be classified into:

- spherical porosity
- group or linear porosity
- wormholes.

la operación anterior de resanado se deberá contrastar mediante ensayo por líquidos penetrantes la ausencia del defecto. Finalmente se procederá al recargue siguiendo un procedimiento de reparación cualificado.

Otra posibilidad si el diseño y cálculo de la unión lo permite sería el efectuar refuerzos de la unión mediante procedimientos alternativos como la disposición de cubrejuntas de transición en la junta (Figura 25).



Figura 25. Cubrejuntas
Figure 25. Cover plate

2.2.4 Porosidad

Una de las imperfecciones más comunes en las soldaduras es la presencia de porosidades, también llamadas sopladuras. Se originan principalmente por reacciones químicas que se producen en el baño de fusión y que dan lugar a la formación de gases. Esta situación unida a un rápido enfriamiento del cordón de soldadura, provoca en unos casos que los gases internos no tengan tiempo suficiente para evacuarse al exterior quedando recluidos formando cavidades internas y en otros casos en su salida al exterior quedan atrapadas superficialmente cuando el baño fundido comienza a solidificarse apareciendo entonces un poro externo.

La porosidad puede clasificarse en:

- Porosidad esférica
- Porosidad agrupada o alineada
- Porosidad vermicular



Figura 26. Defecto de Porosidad agrupada
Figure 26. Linear porosity

The main causes of porosity during the welding phase are as listed below:

- unclean joint edges: presence of paint, rust, zinc surfacing or similar
- base metals with high phosphorus and sulfur contents
- moist surfacing: use of poorly conserved, moist or rusty basic electrodes and fluxes
- unfavourable weather conditions: too much wind or rain
- unsuitable or insufficient shielding gas
- leaks in welding equipment
- high cooling rate
- heavy flow of shielding gas causing turbulence and leaving the weld pool unprotected
- excessive root gaps: the liquid metal is not protected by the shielding gas and suctions air in from behind
- poor operating technique, with an arc that is too long or a travel angle that is too large.

The recommendations and precautions to counter the aforementioned causes are set out below.

- Welded joint edges should be cleaned with a circular saw or wire brushes before welding.
- Once unwrapped, electrodes and basic flux coats should be stored in ovens or kilns.
- Established welding procedures must be followed, including specifications on joint type, edge preparation, root gap, and gas type and flow.
- Where a high cooling rate may be expected or moisture is present, the joint should be preheated, at 100 °C in the latter case.
- In outdoor works, the weld must be shielded from wind and rain.

Surface porosity can be detected by visual inspection and penetrating liquids. Inner porosity and cavities can be identified with magnetic particle, X-ray and ultrasound techniques.

Inner linear or group porosities and especially wormholes (elongated pores with fishbone branching), may lower bead mechanical strength considerably or even induce cracks that may grow to the surface in welds under dynamic fatigue stress.

Slight spherical porosity, on the contrary, does not generally constitute a serious defect, although it must always be evaluated to ensure pores do not surpass the established limits.

Today's quality codes and standards tolerate inner pores in welds, within certain limits depending on the quality required.

3. ACCEPTABILITY CRITERIA FOR WELD IMPERFECTIONS

The safety implications of an imperfection vary with its type and magnitude. Hence, while known defects are normally repaired, if the characteristics entail no significant safety hazard, repair may not be necessary.

The legislation lays down criteria for accepting imperfections based on the type of defect and nature of the element affected.

The first step in this analysis is to classify the element into one of the so-called production categories, after which the risk level for the imperfection is established and compared to the allowable imperfection limits to determine its acceptability.

Las principales causas que producen en la fase de soldeo la porosidad, suelen ser las siguientes:

- Falta de limpieza en los bordes de la unión: presencia de pintura, óxido, revestimientos de zinc, etc.
- Materiales base con altos contenidos de fósforo y azufre.
- Revestimientos húmedos. Empleo de electrodos y fluxes básicos mal conservados, húmedos u oxidados.
- Condiciones atmosféricas desfavorables: excesivo viento o lluvia.
- Gas de protección inadecuado o insuficiente.
- Fugas en los equipos de soldeo.
- Altas velocidades de enfriamiento de las soldaduras.
- Flujos elevados del gas de protección que provocan turbulencias quedando desprotegido el baño fundido.
- Separaciones de raíz excesivas: El metal líquido no queda protegido por el gas de protección succionando aire por el lado posterior.
- Mala técnica operativa, con el arco demasiado largo o con ángulo de desplazamiento muy grande.

Teniendo en cuenta las posibles causas mencionadas, seguidamente se establecen algunas recomendaciones y precauciones:

- Limpiar los bordes de la unión soldada con máquina radial o cepillos de alambre, antes de iniciar la soldadura.
- Proteger los electrodos y fluxes básicos en estufas y hornos una vez abiertos sus envases.
- Cumplir con las exigencias de los procedimientos de soldaduras establecidos: tipo de junta, preparación de bordes, separación de raíz, tipo y caudal del gas de protección, etc.
- Aplicar precalentamientos en la unión en aquellos casos en los que se que prevean posibles enfriamientos rápidos. Es aconsejable precalentar la junta aproximadamente a 100°C si existe humedad.
- Si la soldadura se realiza en intemperie debe protegerse de la acción del viento y lluvia.

De cara a la inspección y detección de este tipo de defectos en soldaduras ejecutadas, en el caso de las porosidades que afloran al exterior las mismas pueden ser detectadas mediante inspecciones visuales y ensayos por líquidos penetrantes. Por su parte para las porosidades internas es posible emplear para su detección ensayos por partículas magnéticas, radiografías y ultrasonidos.

Las porosidades internas alargadas o agrupadas y principalmente las vermiculares que presentan un forma de gusano con ramificaciones en espina de pez, pueden reducir sensiblemente la resistencia mecánica del cordón pudiendo llegar a originar posibles grietas y propagarse hasta la superficie en las soldaduras que están sometidas a esfuerzos de fatiga bajo acciones de tipo dinámico.

Por el contrario aquellas soldaduras que presentan una ligera porosidad del tipo esférica no suelen suponer un defecto grave para la unión, si bien deberán siempre ser evaluadas en caso de superar los límites de aceptación establecidos. Los actuales códigos y normas de calidad permiten la existencia de poros internos en las soldaduras limitando su dimensión en función de la calidad requerida.

3. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE IMPERFECCIONES EN SOLDADURAS

La trascendencia en la seguridad de una imperfección depende del tipo de imperfección y de su magnitud. De este modo si bien es habitual proceder a la reparación de aquellos defectos conocidos, si las características de la imperfección no implicaran una trascendencia en la seguridad relevante podría no ser necesaria su reparación.

The acceptance criteria for welds laid down in Spanish Structural Steel Code EAE are given in the table below.

Acceptance classes 1, 2, 3 and 4 established in this standard depend on risk level, production category and structural usage. Works or any part thereof may contain elements in different acceptance classes.

The table below, extracted from that code, lists the classes for each risk level, usage category and production category. These parameters are defined at the foot of the table.

Risk level		CC1		CC2		CC3	
Usage category		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Production category	PC1	1	2	2	3	3	3
	PC2	2	2	2	3	3	4

Figure 27. Imperfection acceptance classes as per Spanish Code EAE
 Figura 27. Clases de Ejecución según la Instrucción EAE

Risk level:

Level CC3: elements whose failure compromises personal safety, such as in public buildings, or that may generate huge economic loss

Level CC2: elements whose failure compromises personal safety, but not for the public at large, or that may generate huge economic loss

Level CC1: elements not included in the other two levels

Usage category:

SC1 structures and components exposed to predominantly static actions (buildings); structures with joints designed to resist moderate seismic action but not subject to ductility requirements; floating slab tracks and bearings with fatigue loads below the damage threshold for the most vulnerable detail

SC2 structures and components exposed to fatigue actions (road and railway bridges, cranes and floating slab tracks in general); structures exposed to vibrations induced by wind, pedestrian traffic or rotating machinery; structures with joints requiring ductility pursuant to seismic legislation

Production category:

PC1 components with no welded joints, made of any type of steel; components with shop welds in lower than S355 grade steel;

PC2 components with welds in grade S355 steel or higher; on-site welds in main members; elements subjected to heat treatment during manufacture; hollow shape elements with dogtooth edging

The code establishes quality levels for each acceptance class as shown in Figure 28.

A estos efectos en la normativa quedan establecidos los criterios de aceptación de imperfecciones en función del tipo de defecto y naturaleza del elemento en el que se localiza el mismo.

Para llevar a cabo este análisis se procede inicialmente a clasificar el elemento dentro de las denominadas clases de ejecución. A partir de dicha clase de ejecución se establece el nivel de calidad de la imperfección y de acuerdo con la misma se verifican las características límite de imperfección permitidas para contrastar la aceptación de la imperfección.

A continuación se muestra el criterio de aceptación de soldaduras especificado en la Instrucción de Acero Estructural EAE.

Esta norma establece cuatro clases de ejecución: 1, 2, 3 y 4, en función del nivel de riesgo, condiciones de ejecución y categoría de uso de la estructura. Una obra o parte de la misma, puede incluir elementos de clases distintas.

En la tabla siguiente tomada de dicha Instrucción se muestran las clases de ejecución en función de los parámetros: Nivel de Riesgo, Categoría de Uso y Categoría de Ejecución, que a su vez se definen seguidamente.

Nivel de riesgo		CC1		CC2		CC3	
Categoría de uso		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Categoría de ejecución	PC1	1	2	2	3	3	3
	PC2	2	2	2	3	3	4

Figura 27. Clases de Ejecución según la Instrucción EAE
Figure 27. Imperfection acceptance classes as per Spanish Code EAE

Nivel de Riesgo:

- Nivel CC3: Elementos cuyo fallo compromete la seguridad de personas, como es el caso de edificio público, o pueden generar grandes pérdidas económicas.
- Nivel CC2: Elementos cuyo fallo compromete la seguridad de personas, pero no de público en general, o pueden generar grandes pérdidas económicas.
- Nivel CC1: Elementos no incluidos en los niveles anteriores.

Categoría de uso:

- SC1: Estructuras y componentes sometidos a acciones predominantes estáticas (edificios). Estructuras con uniones diseñadas para acciones sísmicas moderadas que no requieren ductilidad. Carrileras y soportes con cargas de fatiga reducidas, por debajo del umbral de daño del detalle más vulnerable.
- SC2: Estructuras y componentes sometidos a acciones de fatiga (puentes de carretera y ferrocarril, grúas y carrileras en general). Estructuras sometidas a vibraciones por efecto del viento, paso de personas o maquinaria con rotación. Estructuras con uniones que requieren ductilidad por requisito antisísmico.

Categoría de ejecución:

- PC1: Componentes sin uniones soldadas, con cualquier tipo de acero. Componentes con soldaduras de acero de grado inferior a S355, realizadas en taller.
- PC2: Componentes con soldadura de acero de grado S355 o superior. Ejecución de soldaduras en obra con elementos principales. Elementos sometidos a tratamiento térmico durante su fabricación. Piezas de perfil hueco con recortes en boca de lobo

Para cada clase de ejecución la Instrucción establece los niveles de calidad que se especifican en la siguiente la tabla de la Figura 28.

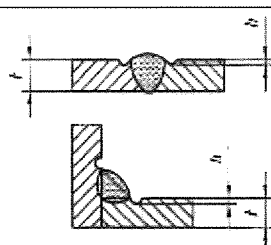
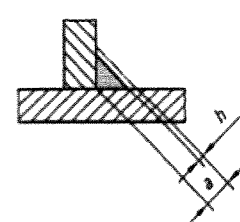
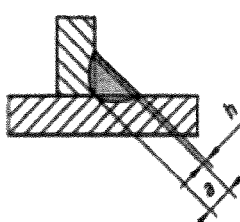
ACCEPTANCE CLASS	IMPERFECTION QUALITY LEVEL
Class 1	Level D
Class 2	Level C in general and level D for undercuts, overlaps, arc striking and craters
Class 3	Level B
Class 4	Level B and supplementary requirements

Figure 28. Quality levels as per Code EAE
 Figura 28. Niveles de calidad según la Instrucción EAE

The code also provides that the acceptance criteria for welds are to be based on UNE EN ISO 5817, "Welding - fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) - quality levels for imperfections", which defines three quality levels

- Level D: moderate
- Level C: intermediate
- Level B: high

The imperfection limits for quality levels D, C and B defined in standard UNE EN ISO 5817 for the defects described in this review are listed in the table below.

Imperfection designation	Remarks	t mm	Limits for imperfections for quality level		
			D	C	B
Undercuts (5011) (5012)		> 3	$h \leq 0.2 t$ max 1 mm	$h \leq 0.1 t$ max 0.5 mm	$h \leq 0,05 t$ max 0,5 mm
Insufficient throat thickness Insuficiente (5213)	Not applicable to processing with proof of greater depth of penetration 	> 3	Short imperfections: $h \leq 0.3 \text{ mm} + 0.1a$ max 2 mm	Short imperfections: $h \leq 0.3 \text{ mm} + 0.1a$ max 1 mm	Not permitted
Excessive throat thickness Excesivo (5214)	The actual throat thickness of the fillet weld is too large. 	> 3	Unlimited	$h \leq 1 \text{ mm} + 0.2 a$ max 4 mm	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,15 a$ max 3 mm
Crack (100)		> 0.5	Not permitted	Not permitted	Not permitted

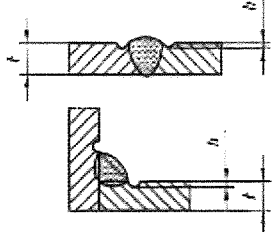
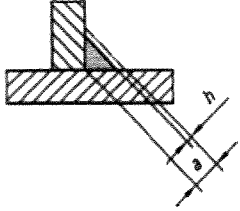
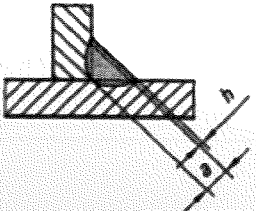
CLASE DE EJECUCIÓN	NIVEL DE CALIDAD DE IMPERFECCION
Clase 1	Nivel D
Clase 2	Nivel C, en general y nivel D para los defectos de mordeduras, solapamiento, cebado de arco y depresiones de cráter
Clase 3	Nivel B
Clase 4	Nivel B y requerimientos complementarios

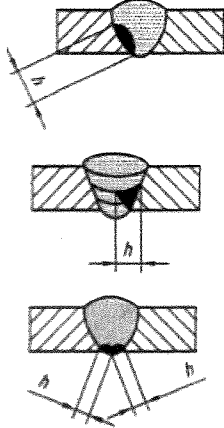
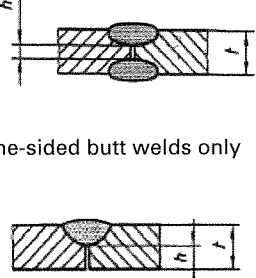
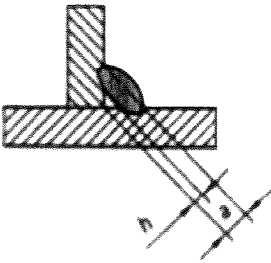
Figura 28. Niveles de calidad según la Instrucción EAE
Figure 28. Quality levels as per Code EAE

Asimismo la Instrucción establece que los criterios de aceptación de soldaduras se basarán en la Norma UNE EN ISO 5817 "Niveles de calidad para las imperfecciones en uniones soldadas por fusión de aceros", en la cual se establecen a su vez la siguiente definición de niveles de calidad:

- Nivel D: Moderado
- Nivel C: Intermedio
- Nivel B: Elevado

Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación se muestran los límites de imperfecciones recogidos en la norma UNE EN ISO 5817 para cada Nivel de calidad D, C y B para los defectos recogidos en este documento.

Designación de la imperfección	Observaciones	t mm	Límites de imperfecciones para los niveles de calidad		
			D	C	B
Mordedura (5011) (5012)		> 3	$h \leq 0,2 t$, máx. 1 mm	$h \leq 0,1 t$, máx. 0,5 mm	$h \leq 0,05 t$, máx. 0,5 mm
Espesor de garganta Insuficiente (5213)	No se aplica a procesos con penetración profunda probada 	> 3	Imperfecciones cortas: $h \leq 0,3 \text{ mm} + 0,1a$, máx 2 mm	Imperfecciones cortas: $h \leq 0,3 \text{ mm} + 0,1a$, máx 1 mm	No admisible
Espesor de garganta Excesivo (5214)	El espesor real de garganta de la soldadura es demasiado grande 	> 3	ilimitada	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,2 a$, máx 4 mm	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,15 a$, máx 3 mm
Grietas (100)		> 0,5	No admisible	No admisible	No admisible

Crater crack (104) (201)		> 0.5	Not permitted	Not permitted	Not permitted
Lack of fusion (Incomplete fusion) Lack of side-wall fusion Lack of inter-run fusion Lack of root fusion (401) (4011) (4012) (4013)		> 0.5	Short imperfections permitted, but not open at surface - butt welds: $h \leq 0.4 s$; max 4 mm - fillet welds: $h \leq 0.4 a$; max 4 mm	Not permitted	Not permitted
Lack of penetration (402) Incomplete root penetration (4021)	Butt joints  For one-sided butt welds only	> 0.5	Short imperfections $h \leq 0.2 t$; max 2 mm	Not permitted	Not permitted
Lack of penetration (402)	Fillet welds 	> 0.5	Short imperfections $h \leq 0.2 a$; max 2 mm	Not permitted	Not permitted
Surface pore (2017)	Maximum dimension of a single pore for Butt welds Fillet welds	> 0.3	$d \leq 0.3 s$; max 3 mm $d \leq 0.3 a$; max 3 mm	$d \leq 0.2 s$; max 2 mm $d \leq 0.2 a$; max 2 mm	Not permitted

Gritas de cráter (104) (201)		> 0,5	No admisible	No admisible	No admisible
Falta de fusión (Fusión incompleta) Falta de fusión afectando a los borde a unir Falta de fusión ente pasadas Falta fusión en la raíz (401) (4011) (4012) (4013)		> 0,5	Se admiten imperfecciones cortas pero no abierta a la superficie- - soldadura a tope: $h \leq 0,4 s$, max 4 mm - soldadura en ángulo $h \leq 0,4 a$, max 4 mm	No admisible	No admisible
Falta de penetración (402) Falta de penetración En raíz (4021)	<p>En uniones a tope</p> <p>Únicamente para soldaduras a tope por un solo lado</p>	> 0,5	Imperfecciones cortas $h \leq 0,2 t$, max 2 mm	No admisible	No admisible
Falta de penetración (402)	<p>En uniones de ángulo</p>	> 0,5	Imperfecciones cortas $h \leq 0,2 a$, max 2 mm	No admisible	No admisible
Picadura (2017)	<p>Medida máxima de un poro que sale al exterior. Soldadura a tope Soldadura de ángulo</p>	> 0,3	$d \leq 0,3 s$, max 3 mm $d \leq 0,3 a$, max 3 mm	$d \leq 0,2 s$, max 2 mm $d \leq 0,2 a$, max 2 mm	No admisible

4. CONCLUSIONS

The present review discusses common problems and defects found in welds. Due to the complexity involved, welding must be carefully designed and workshop drawings fully detailed. Certified procedures and welders must be employed throughout the works, which must be implemented and controlled in accordance with the conditions and geometries in the elements to be welded.

Defects may be detected by inspection and testing and a quality control plan must be established in keeping with welding typologies. Inspection and testing require suitable experience and training and must be conducted by qualified personnel.

Imperfections must be assessed in accordance with the quality levels and imperfection limitations laid down in the legislation.

4. CONCLUSIONES

En el presente documento se han expuesto problemas y defectos frecuentes asociados a la ejecución de soldaduras. La complejidad de este proceso requiere que se le preste una atención adecuada desde la fase de proyecto y desarrollo de planos de taller con una definición completa y detallada de dichas soldaduras y se tenga siempre en consideración durante la ejecución la necesidad de emplear procedimientos y soldadores homologados, considerar las condiciones y geometrías de los elementos en el entorno de la soldadura y desarrollar su control.

Los defectos pueden ser detectados mediante inspección y ensayo, por lo que deberá establecerse siempre un plan de control acorde con las tipologías de soldadura. Los trabajos de inspección y ensayo requieren de experiencia y formación adecuadas por lo que deberán desarrollarse por personal cualificado en los diferentes tipos de ensayo e inspección.

Las imperfecciones deben ser evaluadas de acuerdo con los correspondientes niveles de calidad de imperfección normativos.

Relación de Personal Titulado de INTEMAC

Arquitectos

Benito Díez, María Pilar
Fernández Sáez, Ana María
Fraile Mora, Serafín
Luzón Cánovas, José M^a
Sánchez Arroyo, Jesús M^a

Ingenieros Aeronáuticos

* París Loreiro, Angel

Ingenieros de Caminos

Barrios Corpa, Roberto
* Calavera Ruiz, José
Calderón Bello, Enrique
Corbacho Vicioso, José Angel
De la Cuerda del Olmo, Francisco Javier
De la Fuente Gómez, Ana Isabel
* Díaz Heredia, Elena
Díaz Pavón Cuaresma, Eduardo
* Fernández Montes, David Constantino
Gómez Mariño, Cristina
González González, Juan José
Jiménez Ortiz, Gonzalo
León Bello, Raúl
* Ley Urzaiz, Jorge
Menéndez Martínez, Laura
* Rodríguez Escribano, Raúl Rubén
* Rodríguez Romero, Jesús M^a
Rueda Contreras, Jorge Ladislao
Ruiz Jiménez-Alfaro, Felipe

Ingenieros Civiles

Almeida da Silva, Pedro Miguel
Teixeira Martins, Hermano Tiago

Ingeniero I.C.A.I.

Marín Estévez, Gonzalo

Ingenieros Industriales

* Alvarez Cabal, Ramón Amado
* Arroyo Arroyo, José Ramón
González Carmona, Manuel
Liébana Ramos, Miguel Angel

Ingeniero de Minas

Ramos Sánchez, Adelina

Dra. en Geografía e Historia

Calavera Vayá, Ana María

Licenciado en C. Económicas y Empresariales
González Chavero, Antonio

**Licenciada en Ciencias Políticas
y de la Administración**
Estébenez Morer, Ana María

Licenciados en Ciencias Químicas
Grandes Velasco, Silvia María
López Sánchez, Pedro

Licenciados en Geología
Blanco Zorroza, Alberto
Casado Chinarro, Alejandro
Martín López, Jesús Heliodoro

Master of Science in Civil Engineering
Hoogendoorn, Peter Paul

Arquitectos Técnicos
Jiménez Salado, Borja
Montejano Jiménez, María del Carmen
Vicente Minguela, Francisco

Ingeniero Técnico Forestal
Collazo Rial, Manuel Ramón

Ingeniero Técnico en Informática de Gestión
Esteban Pérez, Ramón
Macias Gómez, Juan José

Ingenieros Técnicos Industriales
Jiménez Rodríguez, José Antonio
Madueño Morano, Antonio
Villar Riñones, Jesús

Ingenieros Técnicos Obras Públicas
Martínez Vicente, Cristina
Mata Soriano, Juan Carlos
Montiel Sánchez, Ernesto
Muriel León, Carlos
Ortiz del Campo, Natalia
Pardo de Agueda, Juan Luis
Romero García, Daniel
Rosa Moreno, José Andrés
Rozas Hernando, José Juan
Sánchez Tomé, Elena
Sanz Ruiz, Idoya

Ingenieros Técnicos Topógrafos

Amador Orenga, German
Carreras Ruiz, Francisco
De Francisco Rodríguez, Francisco
López Jiménez, Luis
Sánchez Martín, María de la O
Torés Campos, Ana M^a

Técnico en Administración de Empresas

Cebrián Sobrino, M^a José

* NOTA: Todo el personal de INTEMAC trabaja en dedicación completa y exclusiva, con la excepción de las personas arriba indicadas con * a las que se autoriza la dedicación a la Enseñanza Universitaria en régimen de dedicación parcial.

CUADERNOS INTEMAC

CUADERNOS INTEMAC es una publicación trimestral, bilingüe en español e inglés, en forma de monografías que recogen trabajos realizados por los técnicos del Instituto o presentados en los Cursos y Conferencias organizados por el mismo.

Los temas tratados cubren tanto el campo de las Obras Públicas como el de la Edificación y sus Instalaciones.

Precio de la suscripción Año 2010: 35 €



ÚLTIMOS TÍTULOS PUBLICADOS

Cuaderno N° 89

“Patologías en construcciones resueltas con elementos prefabricados de hormigón estructural”.

Autor: MIGUEL ÁNGEL LIEBANA.

Cuaderno N° 90

“Patologías frecuentes en uniones soldadas”.

Autores: ROBERTO BARRIOS CORPA, ANTONIO MADUEÑO MORANO, PEDRO VELÁZQUEZ LORENZO.

CUADERNOS DE PRÓXIMA APARICIÓN

Cuaderno N° 91

“Sistemas de impermeabilización líquida en cubiertas”.

Autor: JESÚS SÁNCHEZ.

Cuaderno N° 92

“Refuerzo de vigas de hormigón armado con perfiles metálicos”.

Autores: RAUL RODRÍGUEZ ESCRIBANO.

Consulte lista completa de la Colección

MONOGRAFÍAS INTEMAC

Publicación de INTEMAC con un carácter eminentemente práctico destinada a tratar temas muy concretos que, o bien presentan un nivel de problemas acusado en la práctica, o bien están insuficientemente cubiertos por la Normativa y la documentación técnica correspondientes.

MONOGRAFÍA INTEMAC N° 5

“Mantenimiento y reparación de paramentos de hormigón”.

Autores: R. Barrios Corpa, C. Beteta Cejudo, E. Diaz Heredia, Prof. J. Fernández Gómez, J. M. Rodríguez Romero.

Precio de la Monografía 38 €

MONOGRAFÍA INTEMAC N° 6

“Patología, técnicas de intervención y limpieza de fábricas de ladrillo”.

Autores: P. López Sánchez, J. M. Luzón Cánovas, I. Martínez Pérez, A. Muñoz Mesto, A. Fernández Sáez.

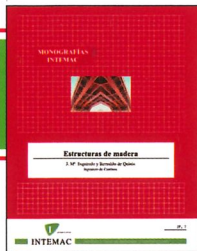
Precio de la Monografía 38 €

MONOGRAFÍA INTEMAC N° 7

“Estructuras de madera”.

Autores: J. M. Izquierdo y Bernaldo de Quirós.

Precio de la Monografía 38 €



NOTAS DE INFORMACIÓN TÉCNICA NIT

Con independencia de la serie de Cuadernos de INTEMAC, de los que se publica un número trimestral, bilingüe en español e inglés, en INTEMAC se producen, con acuciada frecuencia notas de información sobre aspectos concretos que pensamos que no solamente tienen una utilidad interna, sino que pueden resultar interesantes para muchos Técnicos de la Construcción.

Las Notas se envían únicamente por correo (pago por transferencia o tarjeta de crédito).

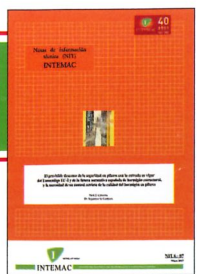
NIT-5 (06)

Influencia de la oxidación y de las manchas de mortero sobre la adherencia de armaduras de hormigón

J. Calavera Ruiz, A. Delibes, J. M. Izquierdo y Bernaldo de Quirós, G. González Isabel.

Edición en español, en color. 12 páginas

Precio 14 €



NIT-6 (07)

El previsible descenso de la seguridad en pilares con la entrada en vigor del Eurocódigo EC-2, y la necesidad de un control estricto de la calidad del hormigón en pilares

J. Calavera Ruiz.

Edición en español, en color. 10 páginas

Precio 12 €

VÍDEOS TÉCNICOS Y DVD'S

Fabricación y ensayo de probetas de hormigón.

N° 2001 (1-1)

Contempla de forma completa y detallada el proceso de toma de muestras de hormigón fresco en obra, la medida de la consistencia con el Cono de Abrams, fabricación de probetas, curado en obra, transporte al laboratorio, curado en cámara, reftentado y ensayo a compresión.

Esta nueva versión del video 8801 (1), introduce las modificaciones de EHE y un sistema de estudio de la distribución de presiones de la prensa sobre la probeta así como los aspectos particulares del ensayo de hormigones de alta resistencia.

30 minutos - 25 €

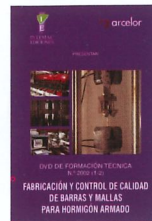


Fabricación y control de calidad de barras y mallas para hormigón armado.

N° 2002 (1-2)

Muestra el proceso de laminación en fábrica de las barras y alambres, la fabricación de mallas y los ensayos de tracción, doblado, arrancamiento de nudos y determinación de las características geométricas del corrugado y el ensayo de Beam-test para la determinación de las características de adherencia.

30 minutos - 25 €



Compresión centrada en hormigón armado.

N° 2002 (1-4)

Contempla la rotura de siete pilares a escala real, variando resistencias de hormigón desde 25 Mpa a 70 Mpa, las cuantías de armaduras, la separación de estribos y la velocidad de carga conectando todo ello con las fórmulas de cálculo.

35 minutos - 25 €



Flexión simple en hormigón armado.

N° 2002 (1-3)

Incluye el ensayo a rotura de cinco vigas a escala real, con diferentes cuantías y diferentes desarrollos de adherencia conectando todo ello con las fórmulas de cálculo.

35 minutos - 25 €



Esfuerzo cortante en hormigón armado.

N° 2002 (1-5)

Muestra el ensayo a rotura de cinco vigas a escala real, con diferentes formas de rotura por corte (Tracción diagonal, corte flexión, compresión diagonal, etc.) conectando todo ello con las fórmulas de cálculo.

25 minutos - 25 €



BOLETÍN BIBLIOGRÁFICO

INTEMAC viene realizando desde su fundación un BOLETIN BIBLIOGRAFICO para uso interno, que ofrece, en una lectura rápida, un panorama general de todas las publicaciones técnicas disponibles. Desde 1991, esta publicación bimestral, ha sido puesta a disposición del público.

EL BOLETIN BIBLIOGRAFICO incluye:

Fotocopia del índice y de los resúmenes de los artículos contenidos en las 105 revistas técnicas que se reciben en el Instituto referentes a los campos de la Edificación, Instalaciones, Obras Públicas y Urbanismo. Una sección de Normativa reciente, nacional y extranjera. Secciones de Bibliografía y Cursos.

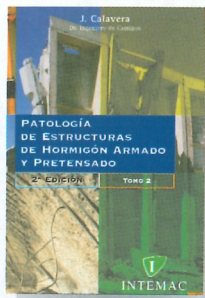
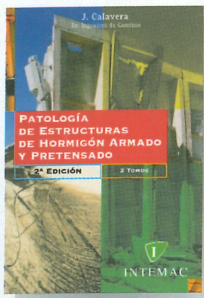
Una sección de Congresos, Reuniones Técnicas y Ferias de próxima celebración en todo el mundo.

Tarifa de suscripción anual (6 números) 200 €



Consulte otras publicaciones

www.intemac.es



Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado 2ª edición (2 tomos)

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 135 €

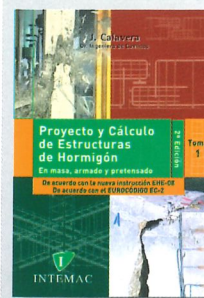


Fichas de ejecución de obras de hormigón 3ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 68 €

Nueva publicación

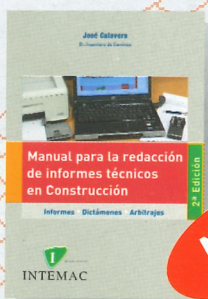


Proyecto y Cálculo de Estructuras de Hormigón 2ª edición (2 tomos)

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 180 €

Nueva edición



Nueva edición

Manual para la redacción de informes técnicos en construcción 2ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 90 €



Manual de Ferralla 3ª edición

J. Calavera, E. González Valle
J. Fernández Gómez, F. Valenciano

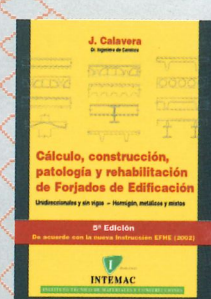
Precio: 45 €



Proyecto de estructuras de hormigón con armaduras industrializadas

J. Calavera, E. González Valle,
J. Fernández Gómez, F. Valenciano

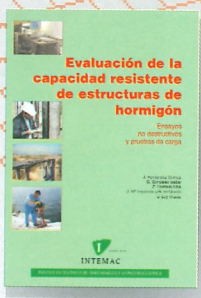
Precio: 50 €



Cálculo, construcción, patología y rehabilitación de forjados de edificación 5ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 113 €



Evaluación de la capacidad resistente de estructuras de hormigón

J. Fernández Gómez, G. González Isabel,
F. Hostalet Alba, J. Mª Izquierdo, J. Ley Urzaiz

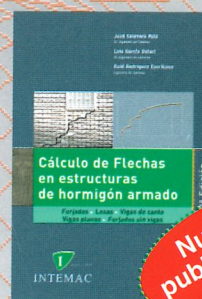
Precio: 64 €



Muros de contención y muros de sótano 3ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 80 €



Cálculo de flechas en estructuras de hormigón armado 2ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)
L. García Dutari (Ingeniero Civil)
R. Rodríguez (Ingeniero de Caminos)

Precio: 110 €

Nueva publicación

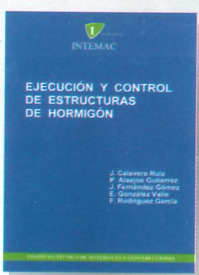
El libro y el CD-ROM pueden adquirirse conjuntamente o por separado.

Software asociado en ficheros de AutoCAD

Manual de detalles constructivos en obras de hormigón armado

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

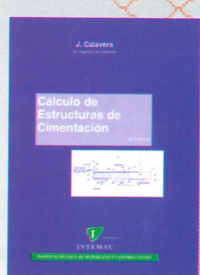
Libro: 123 € CD-ROM: 198 €



Ejecución y control de estructuras de hormigón

J. Calavera, P. Alaejos Gutiérrez, J. Fernández Gómez, E. González Valle, F. Rodríguez García

Precio: 133 €



Cálculo de estructuras de cimentación 4ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 80 €



Hormigón de alta resistencia

G. González-Isabel (Ingeniero Técnico de O. P.)

Precio: 47 €



Tecnología y propiedades mecánicas del hormigón

A. Delibes (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 57 €