

07

serie tecnologia

# UNIONES SOLDADAS

EJECUCION  
CALCULO

COMPLEMENTA  
LA M.V. 103

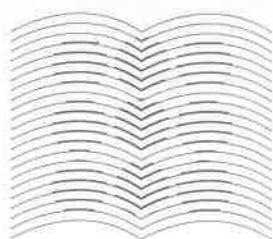
Prof. E. HERNANDO

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
Biblioteca



1400072301

UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA



BIBLIOTECA  
EX-LIBRIS

p 24, 078, 3 Her

### CALCULO DE CORDONES DE SOLDADURA

Como se indica en el titulo en su portada, esta monografía quiere complementar la normativa actual, MV-103, y darle el aspecto docente que por su finalidad no posee.

Se pretende, es justificar las conclusiones que llegan a ser norma, que proceso e hipótesis han aplicado sus autores para llegar a sus afirmaciones, al tiempo que se anexan temas paralelos que cumplimentan el programa de Construcción de Estructuras Metálicas.

Barcelona, octubre de 1979  
enero de 1984



ESCUOLA UNIVERSITARIA  
DE ARQUITECTURA I TÈCNICA

BIBLIOTECA

Registro N.º 151



EDITADO EN LOS SERVICIOS DE PUBLICACIONES DE LA ESCUELA U. DE  
ARQUITECTOS TECNICOS DE BARCELONA

## P R O L O G O

El estudiante se adapta rápidamente a las normativas tecnológicas y a todos sus formularios, esto es bueno, pero puede crear, y de hecho ocurre, que estas, nos hagan pasar de largo el origen de las mismas. Este trabajo pretende que en el momento de entrar en uniones soldadas, sepamos el porque y como se cuantifican y se plasman en Ley.

E. Hernando Talo

## UNIONES POR SOLDADURA ELECTRICA

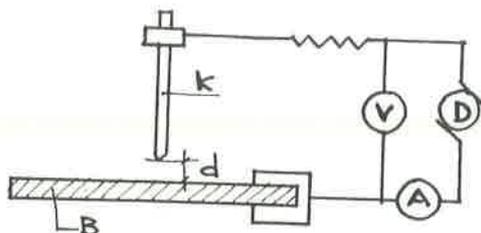


FIGURA - 1

Durante infinidad de tiempo el problema que comunmente presentaban las soldaduras metálicas eran las ejecuciones "in situ" de sus uniones, que si bien requería precisión no por eso revestia gran aparatosidad en su ejecución que en muchas ocasiones no era posible su realización si no era en talleres. Sabido que las uniones resistentes y costosas a primeros de nuestro siglo todavía se realizaban con roblones y posteriormente la tornillería, todo ello implicaba en las estructuras una muy esmerada ejecución coste y preparación para su perfecto casado y posterior unión, bajo el punto de vista mecánico es que los nudos no eran rígidos con las ventajas e inconvenientes que ello reporta, mientras que las uniones soldadas se las pueden considerar rígidas ó empotradas.

Debe tenerse en cuenta que las uniones rígidas efectuadas por soldeo si bien gozan de un alto grado de rigidez ésta viene acompañada de cierta fragilidad, lo cual deriva al proyectista de una estructura, el considerar, que si ésta viene afectada por vibraciones sea el caso de puentes de ferrocarril, naves industriales, que en algunas deba de desestimar la soldadura, por su fragilidad, y optar por ensambles y uniones atornilladas ya que sus uniones son más dúctiles y permite el retensado.

Las uniones por soldadura ó por arco voltaico está basada en dos conductores que se les somete a una diferencia de potencial, (V) estableciendo entre ambos una corriente de electrones entre (K-B). Si posteriormente se les separa, provocaremos una chispa cuyo efecto es ionizar el espacio entre los electrones K y B, permitiendo el paso de electrones (corriente eléctrica), a pesar de no estar físicamente en contacto los electrodos K y B.

Con todo esto, lo que hacemos es crear entre los cátodos un arco eléctrico por la transformación del arco en energía luminosa y calorífica.

El calor provocado y de forma muy localizada, resulta idóneo para llegar a la fusión de los materiales, tanto de aportación (electrodos) cómo las piezas a unir, pues puede alcanzar en superficie muy reducida, temperaturas de 3500°C.

En el circuito eléctrico formado por los electrodos y el arco, la intensidad de corriente depende de la tensión y de la resistencia del circuito. Si los electrodos se acercan ó se separan, variará la resistencia y la intensidad y por tanto, la energía transformada en calor, con lo que la soldadura no será uniforme, en particular la ejecutada manualmente.

Desde el punto de vista práctico, ésto quiere decir que los electrodos deberán de mantener al máximo la misma separación para alcanzar unos criterios de continuidad y homogeneidad, como consecuencia directa de las variables de resistencia e intensidad, todo ello en función de la distancia (D) según figura 1.

#### **ELECTRODOS CON MATERIAL DE APORTACION**

Como se aprecia en la fig. 1, en los inicios de éste sistema se ensayó de forma separada lo que es el material de aportación (M) y los propios electrodos, de tal manera que cuando la formación del arco voltáico se establecía y en él se aproximaba el material de aportación, por el efecto del calor fundía y se proyectaba al punto de unión arrastrado por el propio arco (proyección de electrones).

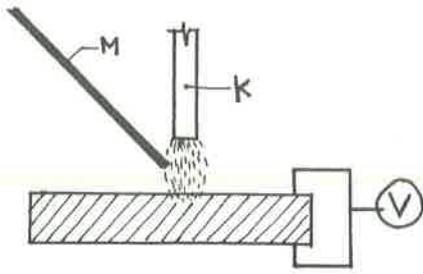


FIGURA -2

Todo ello implicaba que el calor del arco disocia las moléculas de hidrógeno, que vuelven a formarse al contacto con las piezas a soldar, todo ello junto con el calor, funde las piezas y permite que se efectúe la soldadura en ausencia del oxígeno y el nitrógeno del aire. Este sistema todavía primario no prosperó, ó mejor dicho, fué corregido, ya que bajo el punto de vista resistente, práctico y rápido, el enfriamiento de las zonas ya soldadas, la oclusión de aire ó gases en el interior hacían que el cordón de soldadura ofreciera serias irregularidades en sus secciones, así como la alteración de las características mecánicas del acero de aportación.

#### PRINCIPIOS ELECTRODOS CON REVESTIMIENTO

A principios de siglo, el sueco Kjellber inventó el electrodo revestido, la idea de Kjellber consistió en recubrir las varillas de acero de aportación, con una parte de polvo y aglomerante y utilizar éste directamente como Electrodo K.

Con ello se consigue:

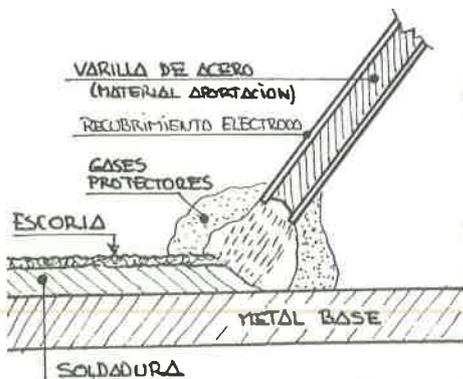


FIGURA 3

- a) Formar el arco voltáico.
- b) La formación de calor funde en segunda fase el recubrimiento del electrodo.
- c) Funde la varilla de acero y se proyecta directamente al punto de unión.
- d) El recubrimiento una vez "quemado" por la baja densidad queda localizado encima del material fundido recibiendo el nombre de ESCORIA.

Analizaremos ahora lo que Kjellber consigue con la introducción del ELECTRODO REVESTIDO:

El recubrimiento del electrodo es un punto de singular y de gran importancia, ya que, con la temperatura del arco voltáico ésta favorece la fusión del metal, (actúa como fundente), y su eficacia consiste en su combustión, que desprende gran cantidad de gases, formando una gran campana protectora que siendo inócua para el metal fundido, ésta la protege del aire ambiental, y controla el enfriamiento de la soldadura, proporcionándole cierta lentitud.

El electrodo revestido, evita con gran eficacia el que se oclusione el aire ambiental gracias a la campana protectora, problema inicial que perjudicaba la capacidad mecánica de la unión, controla el enfriado, evitando posibles fisuras en un rápido enfriamiento.

#### CARACTERISTICAS DEL REVESTIMIENTO

El revestimiento de los electrodos está construido generalmente por ácidos, minerales, carbonatos, silicatos ó diversos compuestos orgánicos. Además del efecto protector del material fundido ya comentado anteriormente, al revestimiento se le reconocen las siguientes ventajas:

a) Al ser menos fusibles que el metal del electrodo, forma una especie de vaina alrededor del arco que facilita su dirección. También se ioniza mejor el aire que rodea la forma a soldar.

b) Permite realizar las llamadas "soldaduras de gran penetración" gracias a que permite utilizar más intensidad de corriente, aumentándola para fusión y evitando con ésto el que tengamos que preparar los bordes de algunas piezas.

c) Gracias a la protección de la escoria fundida, el enfria-

miento de la soldadura se hace con más lentitud, evitando tensiones internas.

#### PRINCIPALES TIPOS DE ELECTRODOS

	UNE	DIN
Revestimiento ácido	A	Es
Revestimiento bórico	B	Kb
Revestimiento celulósico	C	Ze
Revestimiento oxidante	O	Oz
Revestimiento de rutilo	R	Ti

Siendo los diámetros comerciales en milímetros:  
2, 2.25, 3.25, 4, 5, 6.3, 8, 10, 12,

#### CARACTERISTICAS DE CADA REVESTIMIENTO

##### A) Revestimientos ácidos:

Contienen óxidos de hierro o manganeso y ferromanganeso u otros, ó oxidantes.

Se funden con facilidad.

Tinen una penetración aceptable.

Son adecuados para soldaduras planas.

Se usan con corriente continua ó alterna.

Necesitan que el metal base sea de buena soldabilidad (en caso contrario se pueden producir fisuras en caliente).

La escoria se separa facilmente.

##### B) Revestimientos básicos:

Contienen calcio o carbonatos básicos y espato de fluor.

Son dificiles de fundir.

Tienen una penetración media aceptable.

Son adecuados para soldar en todas las posiciones.

Se utilizan con corriente continua de polaridad positiva, aunque existen electrodos utilizados con corriente alterna.

El metal depositado es altamente resistente a la fisuración en frio y caliente.

Son muy aptos para reacciones gruesas, para soldaduras sometidas a fatiga o soldaduras importantes para la seguridad de la obra.

La escoria se separa con facilidad.

Deben estar muy secos antes de su utilización, ya que así el metal depositado tendrá bajo contenido de hidrógeno.

#### C) Revestimientos celulósicos:

Contienen sustancias orgánicas combustibles.

Se funden facilmente.

Tienen gran penetración.

Adecuados para soldar en todas las posiciones.

La escoria se separa con facilidad.

#### O) Revestimientos oxidantes:

Contienen óxidos de hierro.

Tienen escasa penetración.

Adecuados para cordones ligeros, en los que el aspecto de acabado es más importante que su resistencia.

#### R) Revestimientos de rutilo:

Contienen gran cantidad de rutilo o derivados del óxido de titanio.

Adecuados para soldar en posición vertical y en el techo.

Ligera susceptibilidad a la fisuración en caliente.

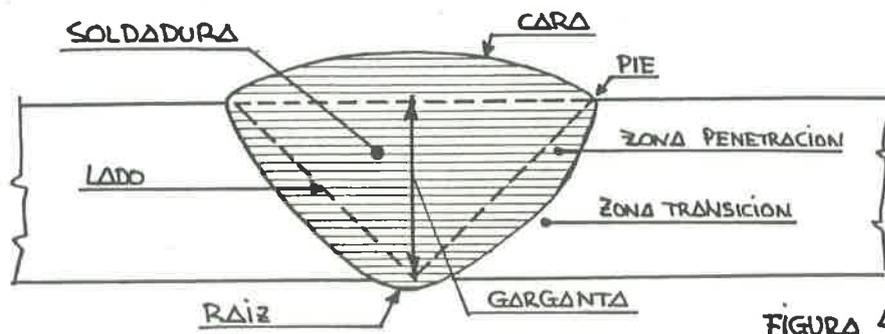
## RESISTENCIA A LA TRACCION

Simbolos	Kg/mm
0	--
1	41
2	44
3	48
4	52
5	56
6	60

## CORDON DE SEGURIDAD. DEFINICIONES

El cordón de soldaduras es el elemento, generalmente de aportación, que se funde con los elementos bases formando un nudo ó cuerpo, que lo podemos considerar monolítico y rígido. El cordón de soldadura requiere antes de su ejecución un cálculo de su dimensionado para una correcta respuesta a las sollicitaciones que van ha estar sometidos.

Al cordón (fig.4) se le distinguen tres partes principales.



**ZONA DE SOLDADURA.** Es el núcleo, ó zona central, que está formada por el metal de aportación.

**ZONA DE PENETRACION.** Son las zonas de las piezas a unir que ha fundido y aleado con el propio material de aportación.

La mayor ó menor profundidad de la penetración difiere en gran parte de la calidad de la soldadura. El personal práctico en realizar las soldaduras, cuando ésta no disfruta de una buena penetración, la denominan, como soldadura "pegada".

**ZONA DE TRANSICION.** Es la zona más próxima a la penetración, ésta zona sí bien no ha sufrido la fusión su temperatura externa le ha proporcionado un tratamiento térmico del cual se pueden originar tensiones internas derivadas del diferencial térmico.

#### DEFINICION GEOMETRICA DEL CORDON DE SOLDADURA

Las dimensiones fundamentales que sirven para determinar un cordón y a su vez las posibilidades mecánicas de las mismas, bienen definidas por  $a$ =garganta y  $le$ =longitud eficaz ó, también, llamada de cálculo.

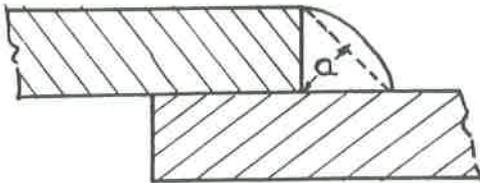


FIGURA 5

Garganta ( $a$ ).- Es el valor de la altura del triángulo isósceles máximo inscrito, cuyos lados iguales, están contenidos en las dos caras de las piezas. (ver fig.4 y 5). El acuerdo adoptado en la definición de garganta, viene asignado por el grado de la penetración. Como podemos apreciar en el

gráfico (fig. 6) la penetración no es igual en todo su proceso, de tal forma que en la zona Z en el pié de la raíz, la penetración es inferior, por lo cual, la garganta al definirle como la altura del

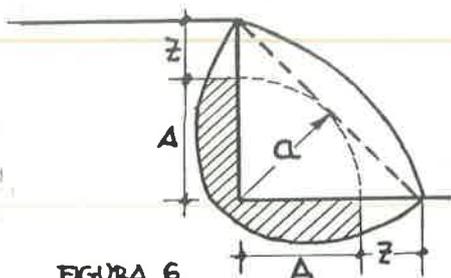
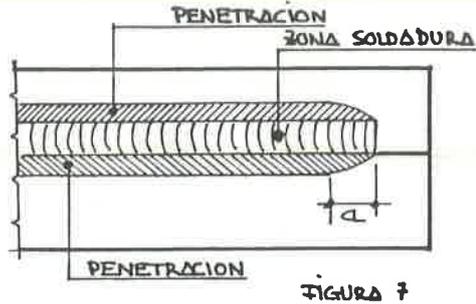


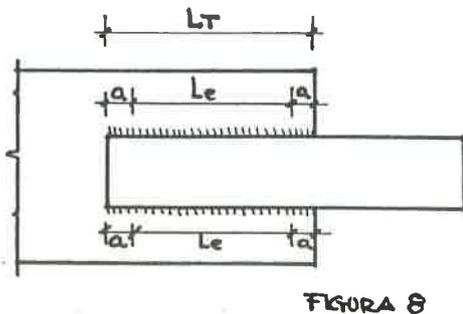
FIGURA 6

triángulo isósceles, desprecia la zona de mínima penetración. En la figura que se adjunta (fig. 6) puede apreciarse que si proyectamos la altura ( $a$ ) hacia los lados del triángulo, ésta nos determina la zona A como máxima pene

tración la cual siendo  $A=a$  nos determina que ésta,  $(a)$ , multiplicado por la longitud de cordón define la superficie de cálculo, la cual utilizaremos para el dimensionado de los cordones.



Longitud eficaz ( $l_e$ ) .- Se llama longitud eficaz, en un cordón de soldadura, a la longitud la cual consideramos que la penetración es sensiblemente uniforme. Como apreciamos en la figura 7, en todo desarrollo de un cordón, sus extremos quedan sensiblemente disminuidos las zonas de penetración, a estas donde se ha perdido la continuidad se le llama "crater" y se acepta un valor igual a la garganta  $(a)$ .



En el supuesto, (fig. 8) en que dos piezas unidas mediante dos cordones, podemos ya plantear que la  $l_e$  de cada uno de ellos es:

$$l_t - 2a = l_e$$

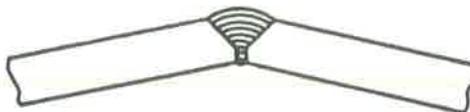
por lo cual, establecemos el concepto de longitud " $l_t$ ", que si bien no que es utilizable en la parte numérica sí es de aplicación en los planos de ejecución y de definición geométrica, que irán a manos de los operarios que efectuarán la realización material del cordón.

#### CLASIFICACION DE LOS CORDONES DE SOLDADURA

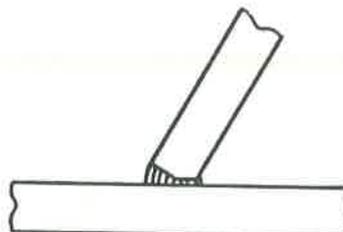
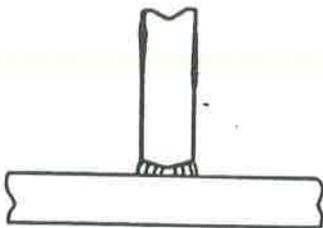
Las clasificaciones más habituales en que distintos autores suelen coincidir, y por su aceptación detallamos:

- 1º Por la posición geométrica de las piezas a unir.
- 2º " " " del cordón de soldadura respecto a la sollicitación
- 3º " " " del cordón durante la operación de soldar.

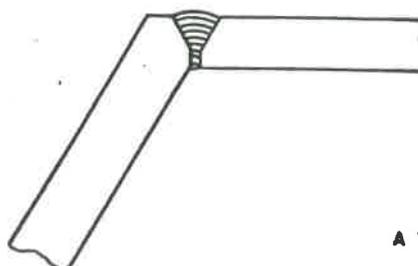
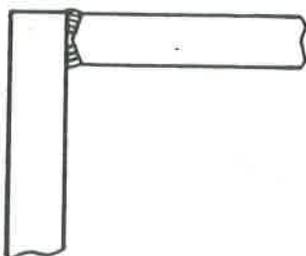
POSICIONES GEOMETRICAS DE LAS PIEZAS A UNIR



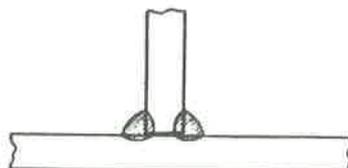
EN PROLONGACION



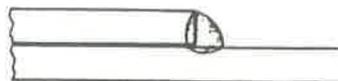
A TOPE EN T



A TOPE EN L



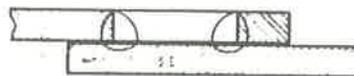
ANGULO EN RINCON



ANGULO EN SOLAPE



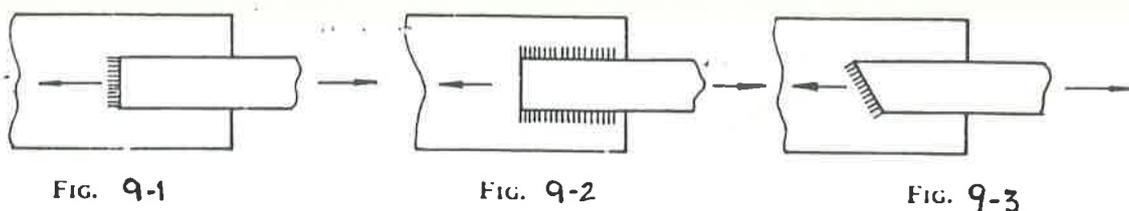
ANGULO EN ESQUINA



ANGULO EN RANURA

Por la posición del cordón de soldadura respecto al esfuerzo, las soldaduras pueden dividirse en:

- a) Cordón frontal (fig. 9-1).
- b) Cordón lateral (fig. 9-2).
- c) Cordón oblicuo (fig. 9-3).



Por la posición del cordón durante la operación de soldar, los cordones de soldadura pueden dividirse en (fig. 10):

- a) Cordón plano (se designa con H).
- b) Cordón horizontal u horizontal en ángulo (se designa por C).
- c) Cordón vertical (se designa con V).
- d) Cordón en techo o en techo y en ángulo (se designa con T).

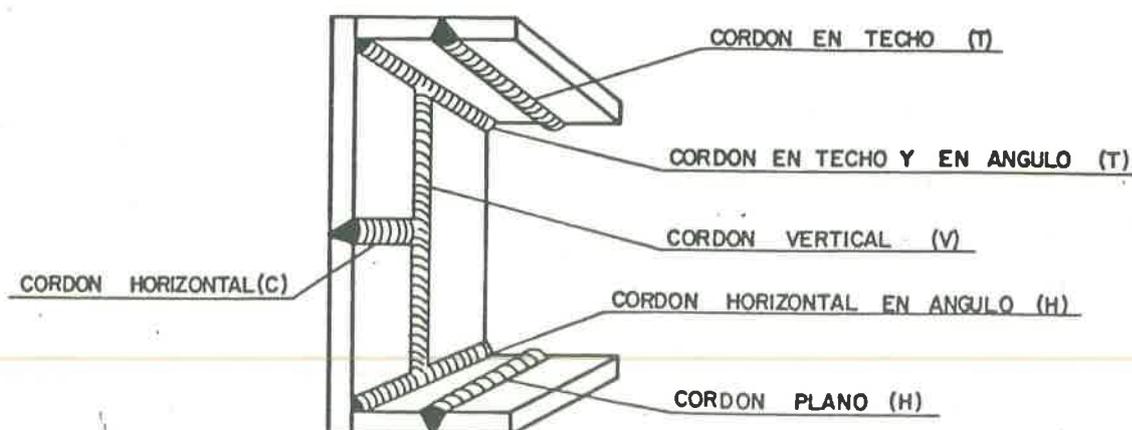


FIG. 10

## PREPARACION DE BORDES

La formación de buenos cordones de soldadura, tanto a tope como en ángulo, se basa en fundir una parte suficiente del metal base para conseguir una buena penetración y formar, mediante la fusión del electrodo, un cordón de suficiente resistencia.

Cuando las piezas a unir sobrepasan ciertos espesores, para conseguir una buena penetración es necesario preparar los bordes de la soldadura, de forma que, además, sea necesario depositar la mínima cantidad de metal de aportación.

Con electrodos normales, a partir de 6 ó 7 mm. ya es necesaria la preparación de bordes.

Con electrodos de gran penetración no es necesario preparar los bordes hasta los 10 mm. de espesor.

Los sistemas típicos de preparación de bordes en la soldadura de estructuras son:

- a) Preparación en bordes escuadrados.
- b) Preparación en V.
- c) Preparación en U.
- d) Preparación en X.
- e) Preparaciones mixtas.

**Bordes escuadrados.** Es la más económica y la que necesita menos material de aportación (fig. 11).

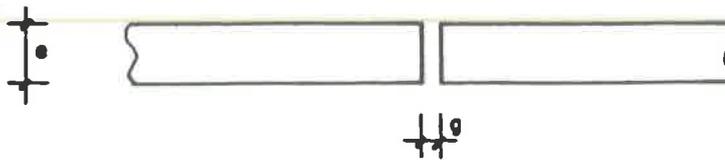


FIGURA 11

Con electrodos normales se pueden soldar piezas de hasta 6 ó 7 mm. Con electrodos de gran penetración, piezas de hasta 10 mm.

La soldadura con bordes escuadrados se designa con el símbolo a.1, en donde  $g$  es la separación entre piezas,  $a$  es espesor del cordón y  $l$  la longitud eficaz.

**Preparación en V.** Se emplea hasta espesores de 20 mm. Como se puede producir una apreciable deformación angular, es conveniente presentar las piezas falseadas. Se designa con el símbolo a.1, o bien a.1, según sea simétrica o asimétrica (fig. 12).

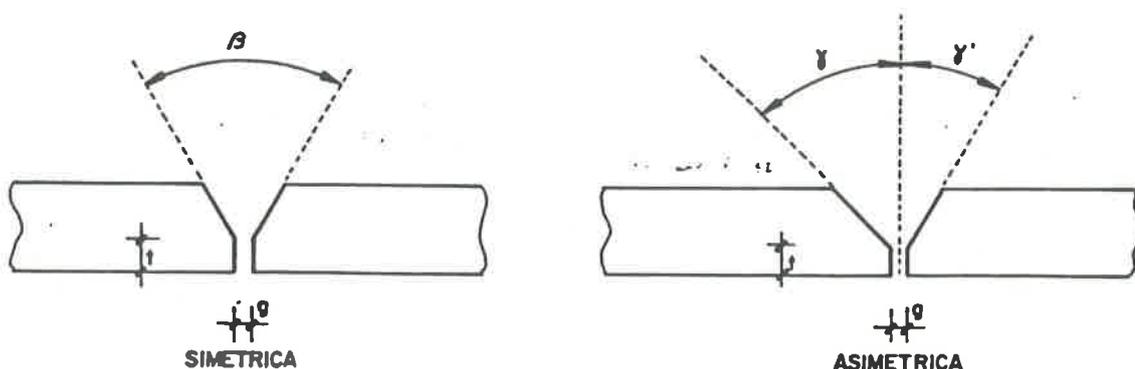


FIGURA 12

**Preparación en U.** Se emplea para espesores superiores a 20 mm. Necesita menos metal de aportación que las soldaduras en V. Se designa con el símbolo a.1, en donde con  $D$  se representan todas las dimensiones en milímetros o en grados y  $n^{\circ}$  el número de pasadas para realizar el cordón.

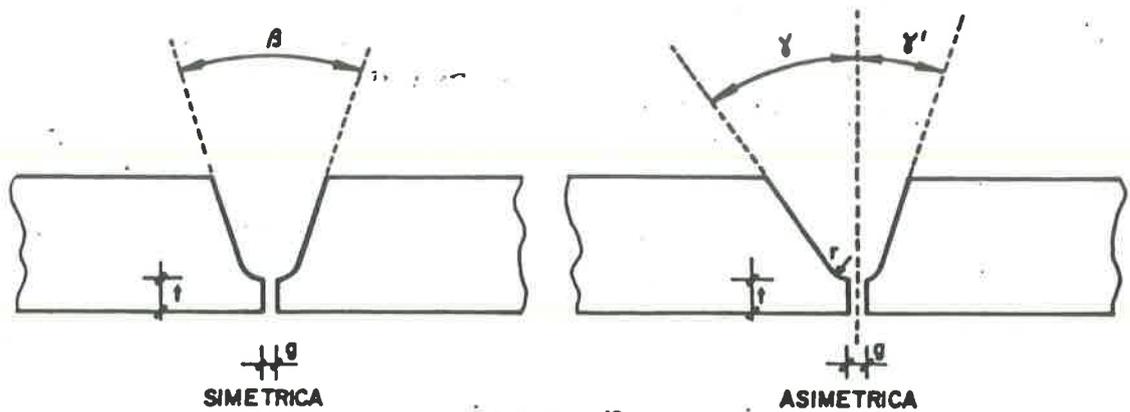


FIGURA 13

Preparación en X. Se utiliza para soldar por las dos caras con penetración completa y mínima deformación angular. Se utiliza hasta 40 mm. de espesor con cantidad relativamente pequeña de metal de aportación. Variante de esta solución es la preparación en K. Se designa con el símbolo a.1 si es simétrica. En caso de preparación asimétrica o irregular, el símbolo es a.l.

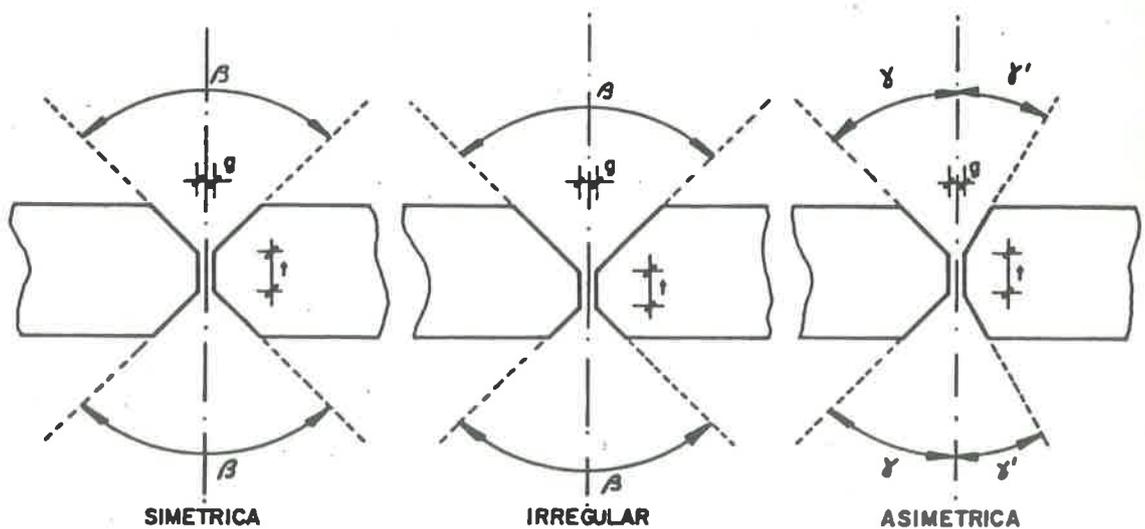


FIGURA 14

Preparación mixta. Son soldaduras combinación de las anteriores.

De la MV-104 obtenemos la tabla 5.8, en la que se resumen los tipos de preparación de bordes, así como recomendaciones sobre diámetro de los electrodos a utilizar y el número de pasadas.

## RECOMENDACIONES FUNDAMENTALES RESPECTO A LOS ELECTRODOS

- 1ª Escoger un diámetro correcto del electrodo.
- 2ª Escoger una corriente apropiada: Si la corriente es muy alta, el electrodo se funde demasiado rápido y el baño de fusión será extenso e irregular. Si es baja no habrá calor suficiente para fundir el metal base será demasiado pequeño y de aspecto irregular.
- 3ª Escoger una longitud de arco correcta: Si el arco es muy largo fluctuará produciendo un cordón ancho e irregular. Si es muy corto, no habrá calor suficiente y, además, el electrodo se pegará frecuentemente a la pieza, produciendo cordones altos e irregulares y existirá falta de fusión.
- 4ª Escoger una velocidad correcta: Cuando la velocidad es excesiva, el baño se enfría rápidamente, dando lugar a que las impurezas y los gases queden aprisionados. Si la velocidad es muy pequeña el metal se amontona haciendo cordones demasiado altos.
- 5ª Escoger un ángulo correcto del electrodo: El electrodo debe mantenerse en la bisectriz de la unión y perpendicular al cordón de soldadura.
- 6ª Antes de soldar deben limpiarse y secarse los bordes de las piezas a unir.
- 7ª Depositar los cordones sin provocar mordeduras.
- 8ª Después de efectuar un cordón y antes de depositar el siguiente debe procederse a una limpieza con piqueta y cepillo de alambre para eliminar la escoria.
- 9ª La superficie de soldadura será regular y lo más lisa posible.
- 10ª En las soldaduras a tope, accesibles por ambas caras, se realizará siempre un saneado, que consiste en levantar la parte de raíz hasta dejar al descubierto el metal sano de soldadura.
- 11ª Evitar los enfriamientos rápidos para evitar tensiones residuales.
- 12ª La resistencia del metal depositado debe ser superior a la del acceso que se suelda.

## PRESCRIPCIONES DE MV-104 PARA UNIONES DE FUERZA

### A) Soldaduras a tope:

- 1ª Deben ser continuas en toda la longitud de penetración completa.
- 2ª Debe sanearse la raíz antes de depositar el primer cordón de la cara posterior o el cordón de cierre.
- 3ª Cuando no sea posible el acceso por la cara posterior debe conseguirse penetración completa.
- 4ª Cuando se unan piezas de distinta sección, debe adelgazarse la mayor con pendientes inferiores al 25% (fig. 5.25).

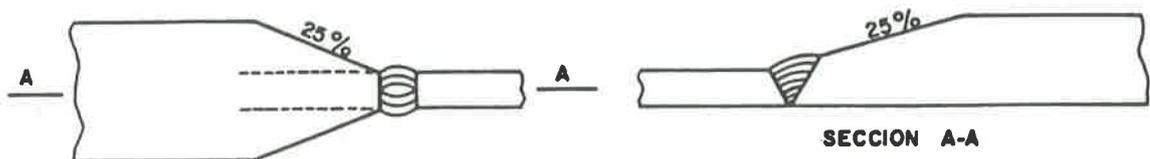
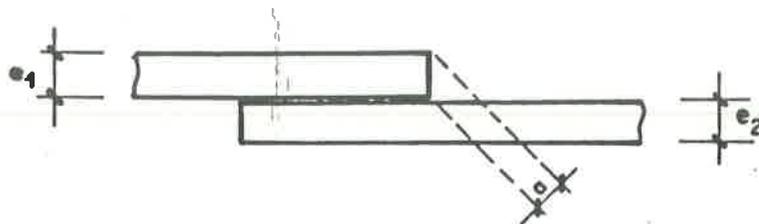


FIGURA 15

### B) Soldadura en ángulo:

- 1ª La garganta de una soldadura en ángulo que une dos perfiles de espesores  $e_1$  y  $e_2$  no debe sobrepasar el valor máximo de la tabla (fig. 16) que corresponde al valor  $e_1$  y no debe ser menor que el mínimo correspondiente al espesor  $e_2$  y siempre que este valor mínimo no sea mayor que el valor máximo para  $e_1$ .



**TABLA (fig. 16) VALORES LIMITES DE (a) MV 104**

Valores límites de la garganta de una soldadura de en ángulo  
en una unión de fuerza

Espesor de la pieza (mm)	Garganta <i>a</i>	
	Valor máximo (mm)	Valor mínimo (mm)
4,0- 4,2	2,5	2,5
4,3- 4,9	3	2,5
5,0- 5,6	3,5	2,5
5,7- 6,3	4	2,5
6,4- 7,0	4,5	2,5
7,1- 7,7	5	3
7,8- 8,4	5,5	3
8,5- 9,1	6	3,5
9,2- 9,9	6,5	3,5
10,0-10,6	7	4
10,7-11,3	7,5	4
11,4-12,0	8	4
12,1-12,7	8,5	4,5
12,8-13,4	9	4,5
13,5-14,1	9,5	5
14,2-15,5	10	5
15,6-16,9	11	5,5
17,0-18,3	12	5,5
18,4-19,7	13	6
19,8-21,2	14	6
21,3-22,6	15	6,5
22,7-24,0	16	6,5
24,1-25,4	17	7
25,5-26,8	18	7
26,9-28,2	19	7,5
28,3-31,1	20	7,5
31,2-33,9	22	8
34,0-36,0	24	8

MV 104

En la tabla (fig. 17) se dan los valores límites de la garganta de una soldadura en ángulo en uniones de fuerza de perfiles I, IB, U, L, LD, T, y TD.

TABLA (fig. 17)

Perfiles I, IB, T y TD	Garganta $a$ Valor máximo (mm)	Perfil	Garganta $a$ Valor máximo (mm)	Garganta $a$ Valor máximo (mm)
I 80	3	□ 80	4	6,5
I 100	3,5	□ 100	4,5	7
I 200	4	□ 120	4,5	7,5
I 140	4	□ 140	5	8,5
I 160	4,5			
I 180	5	□ 160	5,5	9
I 200	5,5	□ 180	5,5	9,5
I 220	6,5	□ 200	6	10
I 240	6,5	□ 220	6	11
I 260	7			
I 280	8	□ 250 · 80	7	11
I 300	8	□ 250 · 100	7	14
I 320	8,5	□ 300	9	12
I 340	9,5			
I 360	10			
I 380	10			
I 400	11			
I 480	13			
I 500	14			
I 550	15			
I 600	17			
IB 140	6			
IB 160	7			
IB 180	7			
IB 200	8			
IB 220	8,5			
≠ 30 · 4	2,5			
≠ 35 · 4,5	3			
≠ 40 · 5	3,5			
≠ 50 · 6	4			
≠ 60 · 7	4,5			
≠ 70 · 8	5,5			
≠ 80 · 9	6			
≠ 100 · 11	7,5			
≠ 100 · 60 · 8	5,5			
≠ 100 · 75 · 8	5,5			
		Perfiles L y LD, en mm	Garganta $a$ Valor máximo (mm)	Garganta $a$ Valor máximo (mm)
		4	2,5	3
		5	3,5	4
		6	4	5
		7	4,5	5,5
		8	5,5	6,5
		9	6	7,5
		10	7	8
		11	7,5	9
		12	8	10
		13	9	11
		14	9,5	11
		15	10	12
		16	11	13
		17	12	14
		18	12	15
		19	13	16
		20	14	16
		22	15	18
		24	16	20
		28	19	22

Los valores de la garganta  $a$  para las almas y en los perfiles H para los bordes no redondeados, las alas son los definidos en la tabla (fig. 16).

#### DEFECTOS DE LOS CORDONES DE SOLDADURA (según MV)

Los defectos de los cordones de soldadura pueden dividirse en:

- a) Superficiales.
- b) Internos.

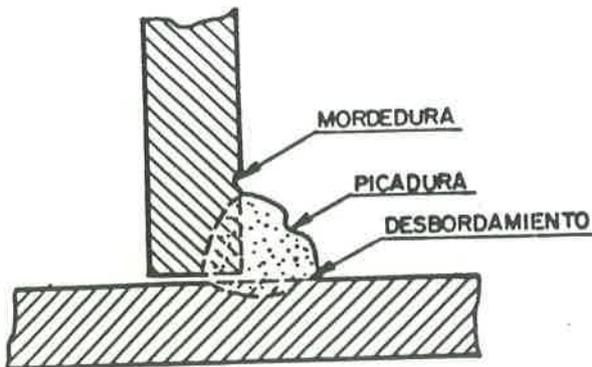


FIGURA 18

#### a) Defectos superficiales.

Los principales defectos superficiales son (fig. 18).

- Las mordeduras.
- Las picaduras.
- Los desbordamientos.

Cada defecto superficial debe corregirse por levantamiento de la soldadura y nueva ejecución.

#### b) Defectos internos. Los principales son: (según V. CUDOS)

##### 1º Soldadura porosa (fig. 19)

Causas:

Arco corto.

Tiempo insuficiente de fusión.

Metal base muy deteriorado.

Electrodo deficiente.



FIG. 19

Corrección:

Limpiar el metal base.

Más tiempo de fusión para que los gases escapen.

Usar corriente apropiada.

Usar el electrodo apropiado.

Mantener un arco más largo.

2º Soldadura de poca penetración (fig. 20).

Causas:

Mucha velocidad.

Electrodo muy grueso.

Corriente muy baja.

Preparación defectuosa.

Corrección:

Usar corriente suficiente para obtener la penetración deseada.

Soldar despacio.

Seleccionar el electrodo de acuerdo con la profundidad del bisel.

Dejar la separación adecuada entre las piezas.

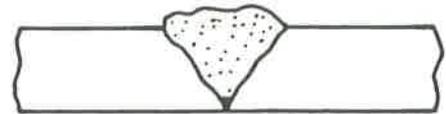


FIG. 20

3º Deformaciones en el cordón (fig. 21).

Causas:

Contracción del metal.

Mala fijación de las piezas.

Mala preparación.

Sobrecalentamiento de la junta.

Corrección.

Soldar más rápido.

Evitar la deformación excesiva de las piezas.

Fijar correctamente las piezas.

Soldar con un programa estudiado.

Usar electrodos de alta velocidad y penetración moderada.

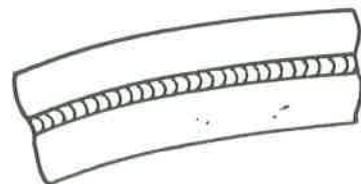


FIG. 21

4º Distorsiones (fig. 22).

Causas:

Calentamiento irregular.

Orden de soldadura inadecuado.

Contracción del metal depositado.

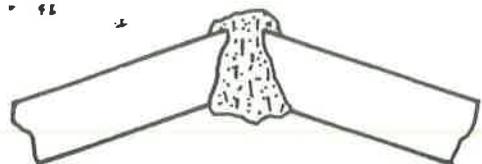


FIG. 22

## CALIFICACION DE LAS SOLDADURAS POR RAYOS X

La norma UNE-14011 indica que la calidad de las soldaduras se fijará de acuerdo con los cinco grupos siguientes:

TABLA 23

Color	Calidad	Clases de unión
Negro	1	Soldadura perfecta
Azul	2	Soldadura buena
Verde	3	Soldadura regular
Marrón	4	Soldadura mala
Rojo	5	Soldadura muy mala

Para determinar las clases de unión, que quedarán designadas por el número correspondiente, se tendrán en cuenta los defectos que aparezcan en la radiografía, con arreglo a las siguientes definiciones:

**Soldadura perfecta.** Es la soldadura homogénea o soldadura con algunas inclusiones gaseosas muy pequeñas.

**Soldadura buena.** Es la soldadura con débiles desviaciones de la homogeneidad, bajo la forma de uno o varios de los defectos siguientes: inclusiones gaseosas, inclusiones de escoria, mordedura de bordes.

**Soldadura regular.** Es la soldadura con pequeñas desviaciones de la homogeneidad, bajo forma de uno o varios de los defectos siguientes: inclusiones gaseosas, inclusiones de escoria, mordedura de bordes, falta de penetración.

**Soldadura mala.** Es la soldadura con marcadas desviaciones de la homogeneidad, bajo forma de uno o varios de los defectos siguientes: inclusiones gaseosas, inclusiones de escoria, mordedura de bordes, falta de penetración, falta de fusión, grietas.

Para la correcta interpretación de las radiografías y la clasificación en estos cinco grupos de las soldaduras correspondientes, se tendrá a la vista un Album de Radiografías Tipo, del Instituto Internacional de la Soldadura, y las Reglamentaciones especiales que hayan de tenerse en cuenta según los trabajos de soldadura comprobados ("Lloyd's Register of Shipping", "Bureau Veritas", "American Bureau", etc.).

Los defectos indicados: inclusiones gaseosas, inclusiones de escoria, falta de fusión, falta de penetración, grietas y mordeduras de bordes, quedan definidos en la tabla siguiente:

TABLA 24

Defecto	Descripción	Aspecto radiográfico
Inclusiones gaseosas.	Presencia en el metal de la soldadura de cavidades motivadas por oclusiones gaseosas.	
Porosidad.	Grupos o pequeños poros aislados.	Pequeñas imágenes redondas y oscuras, generalmente de 1,5 mm de tamaño. Pueden presentarse aisladas o en grupos.

TABLA 24 (continuación).

Defecto	Descripción	Aspecto radiográfico
Porosidad tubular o vermicular.	Cavidades alargadas o tubulares.	Imagen, generalmente muy oscura, a veces con contornos difusos y tamaño variable.
Poros.	Cavidad grande que contiene gas.	Sombras netamente definidas, de contorno redondeado regular, neto o difuso, y diámetro de 1,5 mm.
Inclusión de escoria.	Presencia, en el metal de la soldadura, de cualquier sustancia sólida.	
Aisladas.	Inclusiones con distribución irregular.	Sombras de contorno irregular, que con frecuencia presentan variaciones de densidad en su imagen.
Lineales. Alternadas.	Inclusiones formando línea. Inclusiones generalmente formando línea, pero sin continuidad.	Línea oscura de anchura irregular, continua o intermitente y normalmente paralela a los bordes de la soldadura.
Defecto de limpieza.	Inclusiones debidas a la falta de limpieza en la soldadura o al uso de un buril inadecuado para el levantamiento parcial de los cordones.	Frecuentemente da líneas oscuras paralelas, con un contorno definido y neto del lado exterior de la soldadura e irregular hacia el exterior.
Falla de unión entre paredes.		
Falta de fusión.	Discontinuidad entre el metal base y el metal de la soldadura.	Línea oscura y fina continua o intermitente, con los bordes bien definidos. La línea puede tender a ser ondulada y difusa; dependiendo de la posición relativa del defecto, con respecto al eje del haz de la radiación incidente.
Falta de penetración.	Hendidura en la iniciación de la soldadura, en la cual falta metal de aportación.	Banda o línea oscura, continua o intermitente, a lo largo del centro de la imagen de la soldadura.
Grietas o fisuras.	Discontinuidad producida por desgarramiento del metal, mientras éste se encuentra en estado plástico, o por fractura del metal cuando éste está frío.	
Grietas longitudinales. Grietas transversales.		Línea fina y oscura, ondulada, intermitente o bifurcada, que sigue la dirección de la soldadura o es sensiblemente normal a ella. Puede aparecer en la imagen o fuera de ella.
Mordedura de bordes.	Ranura o surco en la superficie de la pieza a lo largo de los bordes del cordón de soldadura. Puede tener lugar también entre paredes.	Línea oscura irregular, continua o intermitente, difusa, situada a lo largo de la imagen de la soldadura.

## DEFORMACIONES Y TENSIONES INTERNAS DE LAS SOLDADURAS

Durante el soldeo proporcionamos calor que se propaga a lo largo y ancho de las piezas, produciéndose :

a) Un enfriamiento más o menos rápido de las partes de las piezas en las que la temperatura ha superado la del punto crítico del acero.

b) Contracción de las zonas calentadas al enfriarse posteriormente.

La velocidad de enfriamiento de la pieza tiene un efecto importante sobre la modificación de la estructura cristalina del metal, lo cual se traduce en una modificación de sus características mecánicas y, en especial, en un aumento de su fragilidad.

Las contracciones, si operasen sobre las piezas con libertad de movimiento, sólo proporcionarían deformaciones, pero como las piezas tendrán ligaduras, nos aparecerán, además, tensiones internas, que serán mayores a medida que la producción de calor sea mayor o, lo que es equivalente, a medida que las piezas sean más gruesas.

Las deformaciones que nos aparecen pueden dividirse en: deformaciones lineales y deformaciones angulares.

La norma MV-104, señala que la deformación lineal inducida por la contracción longitudinal de la soldadura en dos piezas soldadas a tope está comprendida entre 1 y el 6 por 1.000 de la longitud de la soldadura.

También indica que la deformación lineal  $t$  causada por la contracción transversal suele estar comprendida entre 1mm. y 4 mm.

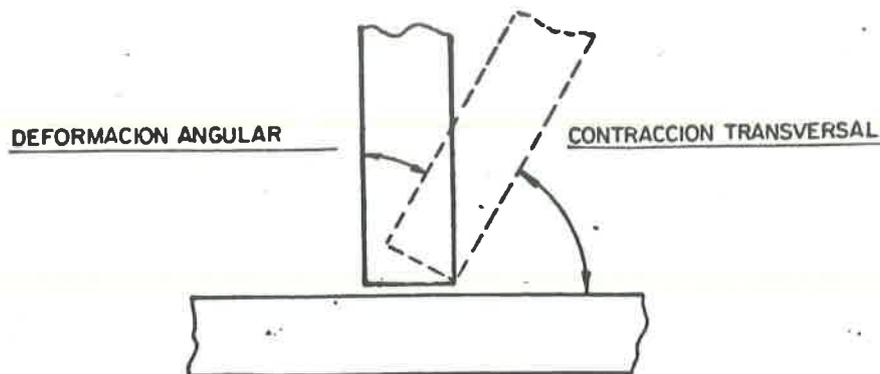


Figura 23

La deformación angular de una soldadura en ángulo o a tope asimétrica produce deformaciones angulares por la diferente contracción transversal de las capas de metal aportado.

En general, en todo tipo de soldaduras se suelen provocar deformaciones como las mencionadas o simplemente abarquillarse en los casos que están impedidos los giros. Todas las deformaciones deben corregirse en frío mediante prensas o máquinas de rodillos.

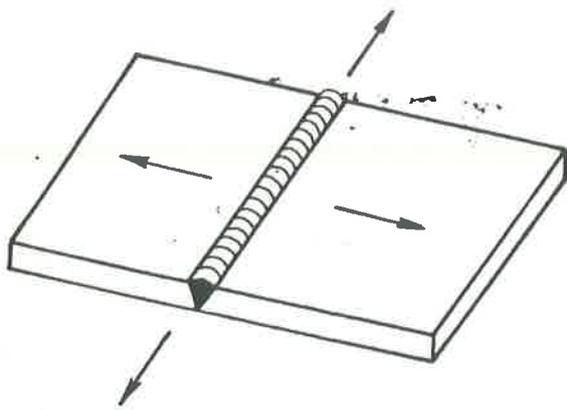
Mejor solución resulta el presentar las piezas falseadas en el momento de soldar, de forma que cuando se haya ejecutado la soldadura queden en la posición deseada.

Respecto a las tensiones internas, se producen en general por el hecho de que al empezar a enfriarse el cordón su contracción está impedida por el resto del metal. En este caso, su longitud final sería superior a la que tendría si se hubiese encogido libremente. La consecuencia es la aparición de tensiones de tracción a lo largo del cordón. Además, cuanto más largo sea el cordón mayor será la tensión de tracción.

También si consideramos la sección transversal del cordón vemos que aparecen tensiones de tracción perpendiculares al mismo, aunque evidentemente de menor importancia que las tracciones longitudinales.

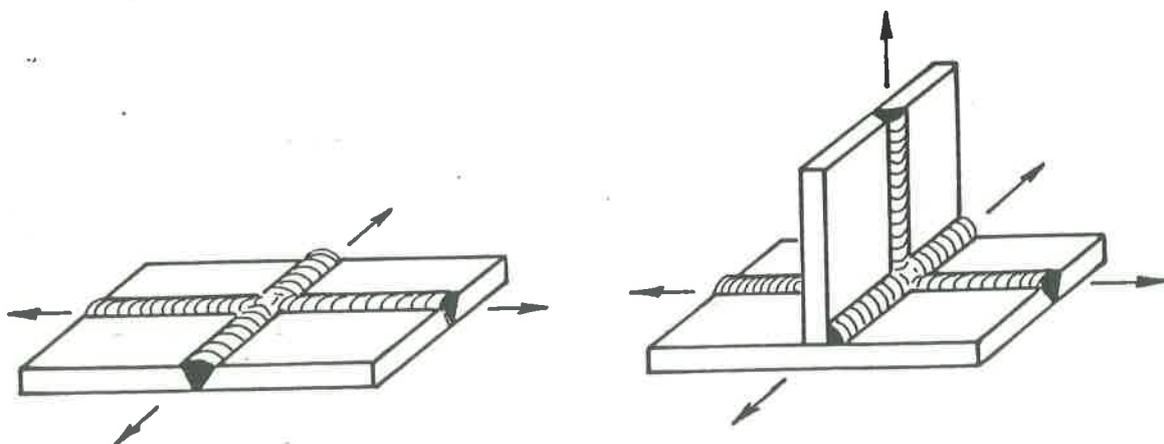


Finalmente, en piezas gruesas pueden aparecer tracciones perpendiculares a las anteriores, obteniéndose un estado triaxial que puede favorecer la rotura frágil de la pieza.



Cuando nos encontramos con dos cordones que se cruzan (fig. 25) nos aparecerán dos tensiones de parecida importancia, que dan origen a un sistema biaxial; pero en el caso más peligroso es el de cruce de tres cordones con tres tracciones de importancia similar (fig. 26). Se presenta en este caso en sistema triaxial de traccio-

nes que pueden provocar con gran facilidad una rotura de unión.



Con objeto de eliminar las deformaciones y las tensiones internas, debemos conseguir unas coacciones mínimas en las soldaduras, para lo cual la norma MV-104 recomienda seguir los siguientes principios:

1º Principio de simetría. El volumen de metal depositado tendrá en todo momento la máxima simetría posible.

2º Principio de libertad. Las piezas a soldar se dispondrán de modo que puedan seguir los movimientos producidos en el soldeo con la máxima libertad posible.

3º Principio de accesibilidad. Con objeto de asegurar el depósito limpio y perfecto del material de aportación.

4º Principio de enfriamiento. La disposición de las piezas y el orden de los cordones será tal que se reduzca al mínimo la acumulación de calor en zonas locales.

#### RECOMENDACIONES PARA LA EJECUCION DE CORDONES

A la vista de lo comentado en el párrafo anterior, podemos eliminar las deformaciones y las tensiones residuales si seguimos las siguientes indicaciones.

a) Para soldaduras con cordones múltiples. Se recomienda en MV-104 que una soldadura de varios, cordones se realice depositando éstos en el orden de la figura 27. El último cordón conviene que sea ancho para que la superficie de la soldadura sea lisa.

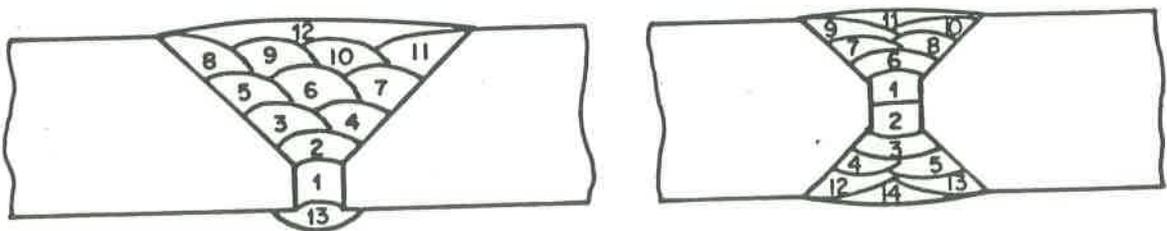


Figura 27

b) Para soldaduras continuas. Cuando la longitud de la soldadura no sea superior a 500 mm, se recomienda que cada cordón se empiece por un extremo y se siga hasta el otro sin interrupción en la misma dirección.

Cuando la longitud está comprendida entre 500 mm. y 1.000 mm. se recomienda empezar por el centro de cada dirección.

Los cordones de soldadura de longitud superior a 1.000 mm. es conveniente hacerlos en "paso de peregrino", sistema del cual se dan diversas soluciones en la figura 28.

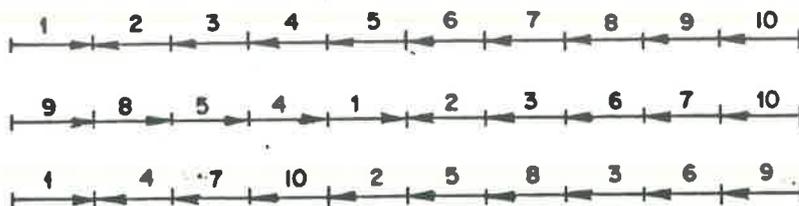


Figura 28. Para un solo soldador.

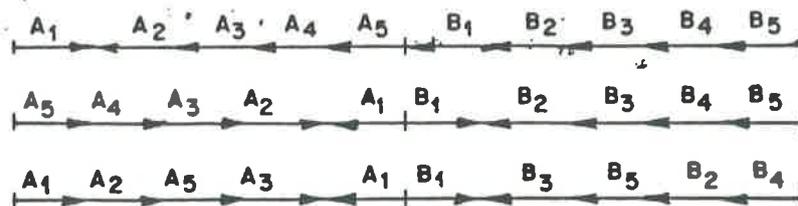


Figura 29. Para dos soldadores trabajando al tiempo.

c) Uniones planas con soldaduras cruzadas. Se recomienda ejecutar en primer lugar las soldaduras transversales (Fig. 30).

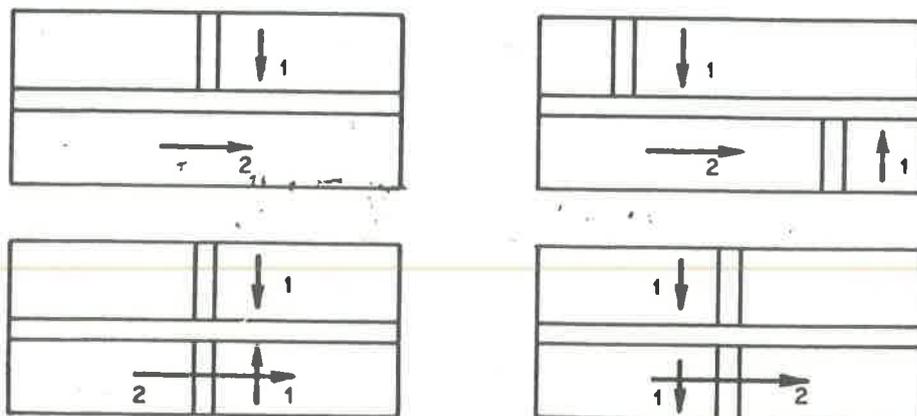


Figura 30

d) Uniones en ángulo con soldaduras cruzadas (fig. 31). Cuando sólo son dos los cordones que se cruzan debe seguirse la disposición a), ya que aunque parece que la disposición b) evita las tracciones biaxiales, el efecto de entalla es más desfavorable que la propia biaxialidad de tracciones.

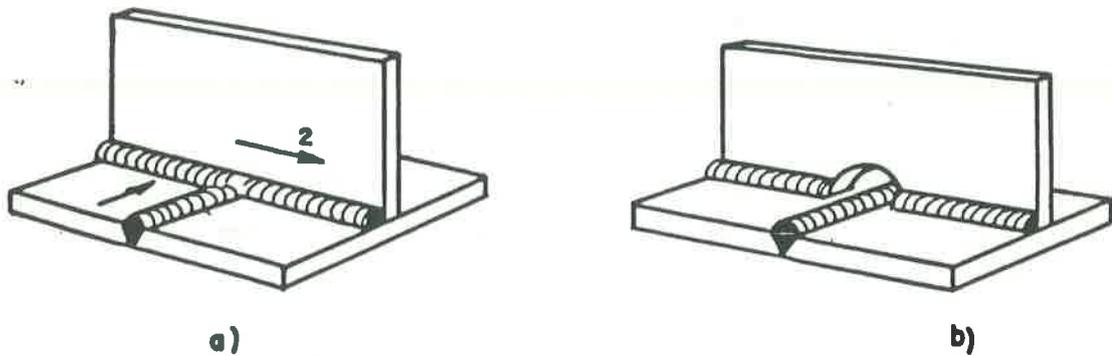


Figura 31

Cuando se trata de tres cordones (fig. 32), el efecto de tracción triaxial y su consecuente peligro de rotura frágil recomienda se utilice la configuración a), en lugar de la b), a pesar del efecto de entalla, aunque la mejor solución es evitar la concurrencia de tres cordones en un punto.

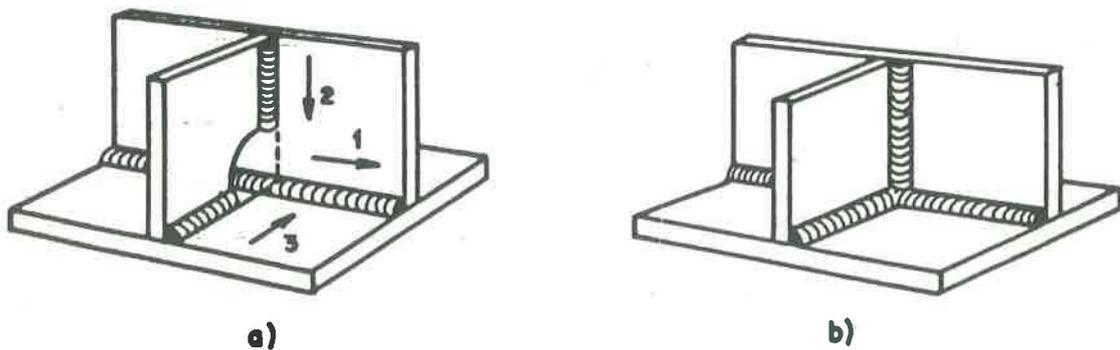


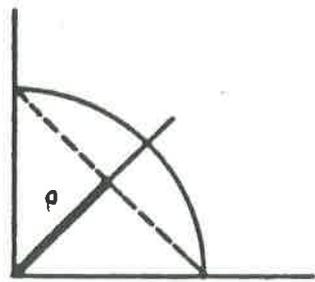
Figura 32

#### PRINCIPIOS DE CALCULO DE LOS CORDONES DE SOLDADURA

a) Soldaduras a tope. La norma MV-103 especifica que las

soldaduras a tope realizadas correctamente no requieren cálculo alguno.

b) **Soldaduras en ángulo.** El cálculo de las soldaduras en ángulo se funda en las experiencias realizadas en Holanda sobre rotura de este tipo de cordones.



Se asimila el cordón de soldadura a un triángulo isósceles (fig. 33) y se toma como sección de cálculo la definida por la altura  $a$  del triángulo isósceles, por ser la sección menor.

También se acepta que las tensiones son constantes a lo largo del plano definido por la altura  $a$  (fig. 34) y cuya superficie es  $a \times l$ , siendo  $l$  la longitud del cordón de soldadura.

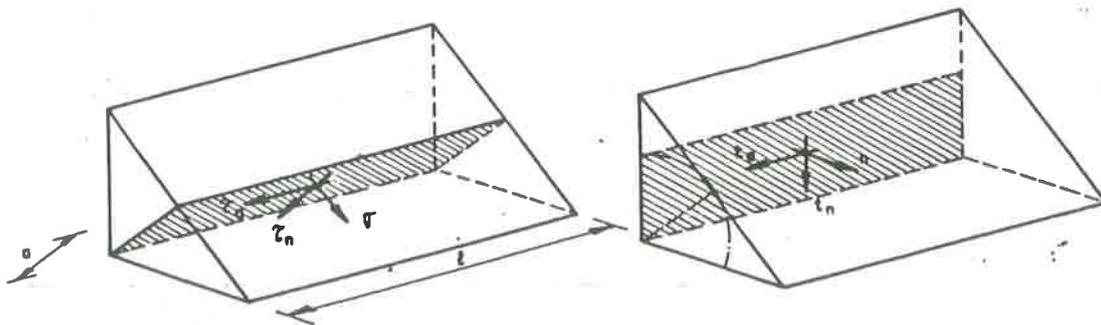


Figura 34

En base a un riguroso plan de ensayos aplicados en cadenas de soldadura efectuadas en el Instituto Nacional de Holanda y con el fin de establecer las leyes que rigen en el comportamiento de este tipo de estructuras, éstas han sido definidas demostradas y admitidas por las actuales normativas vigentes en la mayoría de

países europeos.

Nuestra normativa MV-103, recoge como condición de seguridad en cordones de Soldadura en ángulo, la que la tensión de conformación obtenida de las acciones ponderadas, sea inferior a la resistencia de cálculo del acero.

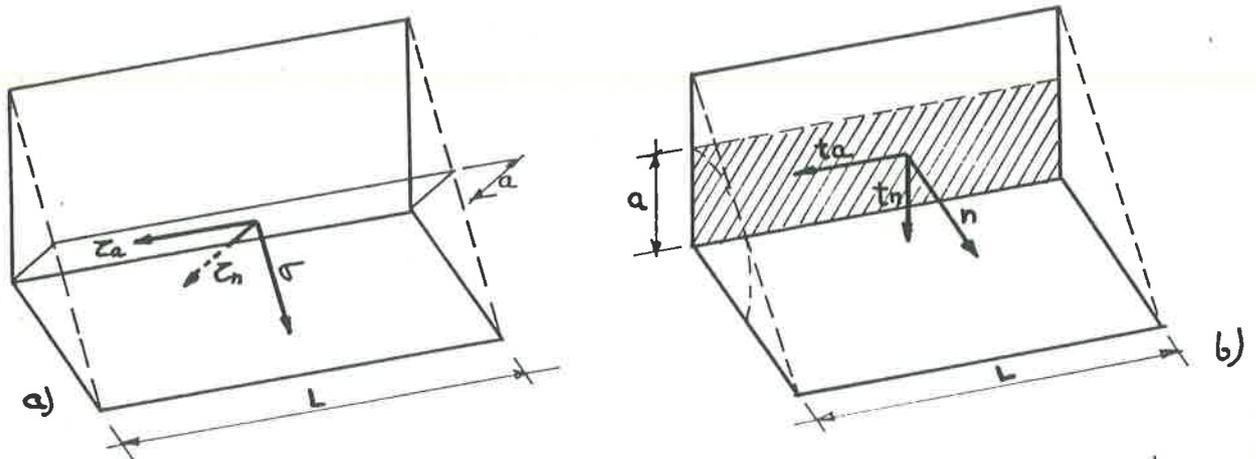


Figura 35 (a y b)

La ecuación aceptada como ecuaciones ponderadas y en base a las figuras adjuntas la siguiente ecuación.

$$\sigma_c^* = \sqrt{\sigma^2 + 1.8(z_n^2 + z_a^2)} \leq \sigma_u \sigma_c^*$$

$\sigma_u$  = Tensión de cálculo.  
 $\sigma_s$  = Límite elástico acero del cordón.  
 $\sigma_c^*$  = Tensión del cordón.  
 $\gamma$  = Coeficiente de seguridad 1.1 a 1.15.

Para mayor sencillez en la demostración es preferible abatir la sección de garganta (bisectriz), al plano de una de las caras, (fig. 35.a), quedando relacionadas ambas tensiones en la forma siguiente.

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{2}} (n + t_n)$$

$$z_n = \frac{1}{\sqrt{2}} (n - t_n)$$

$$z_a = t_a$$

Como puede apreciarse estas formulas de relación entre distintos planos, pueden desarrollarse con la proyección de éstas en dos ejes de coordenadas y mediante los senos de  $x$  e  $y$ , saliendo en función de las componentes interesadas.

### CALCULO DE UNIONES PLANAS

#### - Unión con cordones laterales.

En el tipo de uniones planas como en el caso de la figura 36, en que la distancia entre línea de acción de los esfuerzos transmitidos, despreciamos el momento flector, el cálculo se realizará de la forma siguiente, y con el supuesto de los cordones laterales.

Recordemos la ecuación de tensiones ponderadas.

$$\sigma_c^* = \sqrt{\sigma^2 + 1.8(z_n^2 + z_a^2)} \leq \sigma_u$$

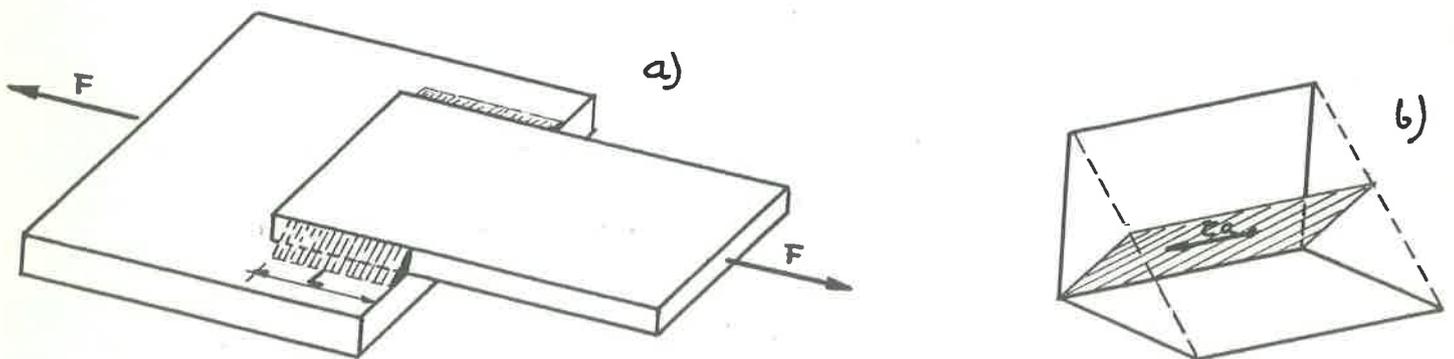


Figura 36(a y b)

La tensión dominante en este caso es solo el valor , y

considerando la recomendación de las normas UNE IA035, la cual nos indica que las tensiones en el cordón son uniformes siempre que éste no exceda de cincuenta veces el espesor de garganta, ni doce el ancho del perfil unido.

Por lo tanto la formula de ponderación la podemos preparar con los datos disponibles.

$\sigma = 0$   
 $\epsilon_n = 0$   
 $\epsilon_a = t_a$

Sabiendo ya que  $t_a = \epsilon_a = \frac{F^*}{2 \cdot l \cdot a}$

La ecuación de ponderación nos queda

$$\sigma_c^* = \epsilon_a \sqrt{1.8} \leq \sigma_u$$

Sustituyendo el valor de en este caso expuesto nos queda

$$\frac{F^*}{2 \cdot l \cdot a} \leq 0.75 \sigma_u$$

En los casos generalizados dentro de estos casos seria

$$\frac{F}{\epsilon \cdot l \cdot a} \leq 0.75 \sigma_u$$

#### UNION CON CORDONES FRONTALES

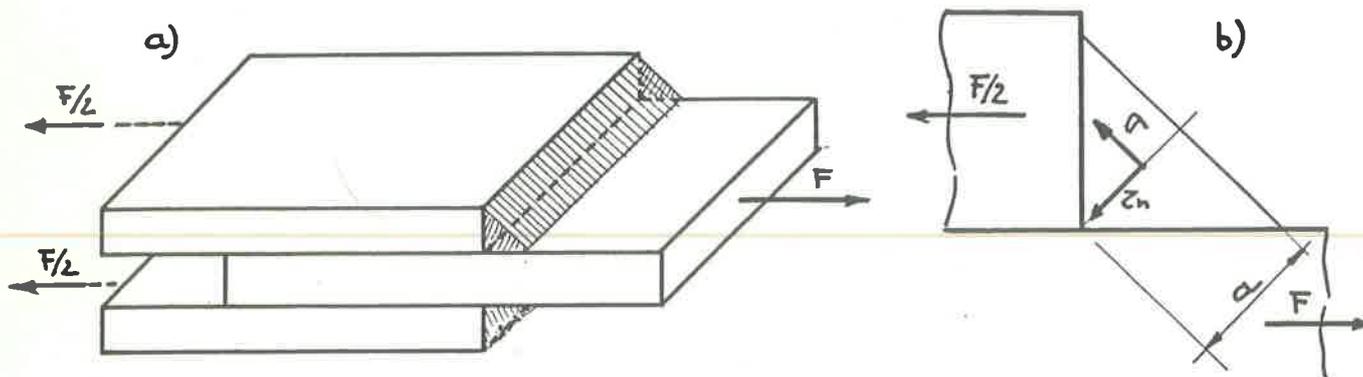


Figura 37

La sección de la garganta como hemos indicado la

consideramos abatida sobre un plano de los lados del cordón, en el gráfico adjunto podemos ver que en este caso intervienen las tensiones  $\sigma_x$  y  $\sigma_y$  y que ambas son la que intervendrán en la ecuación de ponderación y las dos tensiones están o deben de estarlo, equilibradas por  $\sigma_a$ .

Con estas premisas establecemos los condicionantes según las formulas ya indicadas en el principio.

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{F}{2 \cdot L \cdot a} \quad \sigma_a = 0$$

Ecuación de ponderación.  $\sigma_c = \sqrt{\sigma^2 + 1.8(\sigma_h^2 + \sigma_a^2)} \leq \sigma_u$

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma^2 + 1.8\sigma_h^2} = \sqrt{1.4} \frac{F}{2 \cdot L \cdot a} \leq \sigma_u$$

Particularizando este caso podemos tomar.

$$\frac{F}{2 \cdot L \cdot a} \leq 0.85 \sigma_u$$

Para casos generalizados se puede plantear.

$$\frac{F}{L \cdot a} \leq 0.85 \sigma_u$$

- Unión solicitada a flexión resuelto con dos cordones frontales longitudinales.

La tensión máxima producida por el momento flector puede calcularse abatiendo la sección de la garganta sobre el plano del lado del cordón paralelo al eje del momento. (fig.a).

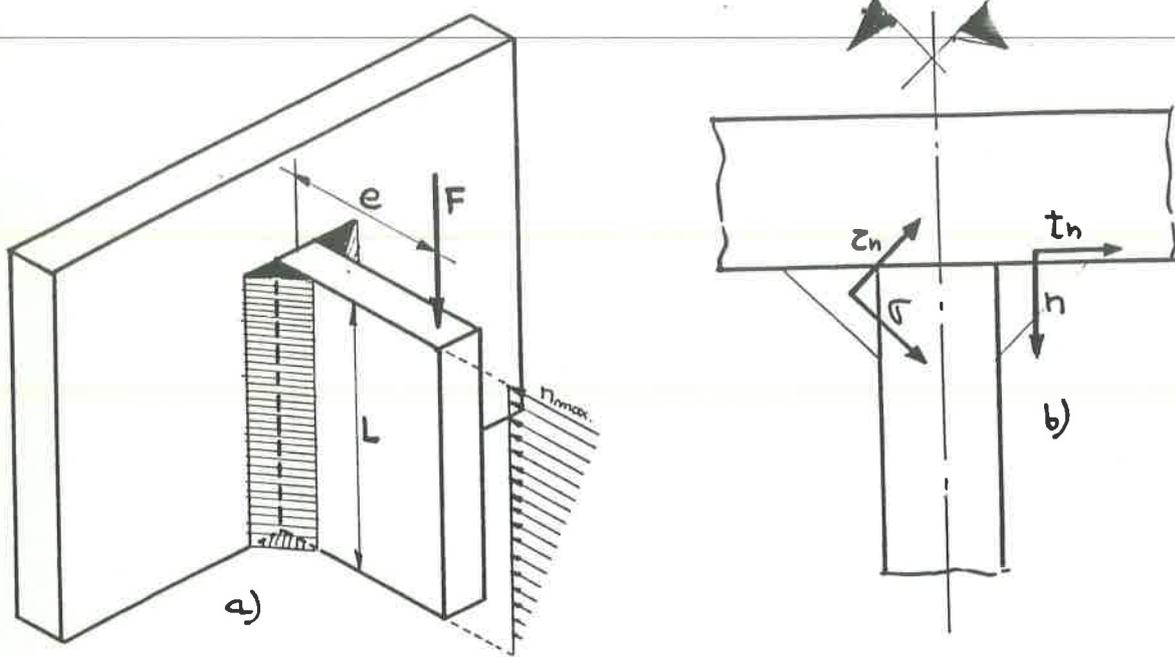


Figura 38

Como el diagrama tensional no es uniforme en toda la longitud del cordón debido a su disposición longitudinal, debiendo en este caso elaborar un equilibrio con las tensiones máximas, máx. y máx., para ello debemos calcular el máx. así como el momento resistente del propio cordón que debe absorber el propio momento, (estudiado para un solo cordón).

$$M = F \cdot e$$

$$W = \frac{aL^2}{6}$$

$$n_{max} = \frac{M}{W} = \frac{F \cdot e}{2} \cdot \frac{6}{aL^2}$$

$$\sigma_{max} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot n_{max} = \frac{3}{\sqrt{2}} \cdot \frac{F \cdot e}{a \cdot L^2} = \sigma_{max}$$

La tensión tangencial al cordón originada por el esfuerzo cortante se puede, y se acepta, como uniforme por lo cual, lo cual combinando las tensiones de la forma ya habitual, se obtiene y se comprobará que:

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_{max}^2 + 1.8(\sigma_{max}^2 + \sigma_{a,max}^2)} \leq \sigma_u$$

Lo cual nos resume que:

$$\sigma_c = 0.55 \frac{F_e}{aL^2} \leq \sigma_u$$

Quiero advertir que esta disposición de unión si bien teóricamente es calculable, no es frecuente que en la práctica se realice de forma única y aislada, pues se puede plantear el efecto de "cremallera", efecto éste que se debe a que al tener la máxima tensión muy concentrada al primer centímetro del cordón (vease el diagrama en fig. 39), el riesgo es mayor, que por un posible aumento de carga imprevisto, o bien una sola anomalía o imperfección, en este punto conlleva consecuencias graves al comportamiento mecánico del nudo. Por lo cual es buena práctica que se auxilie este nudo con cordones frontales para dar más garantía al cemento.

-Unión con solo cordones frontales transversales.

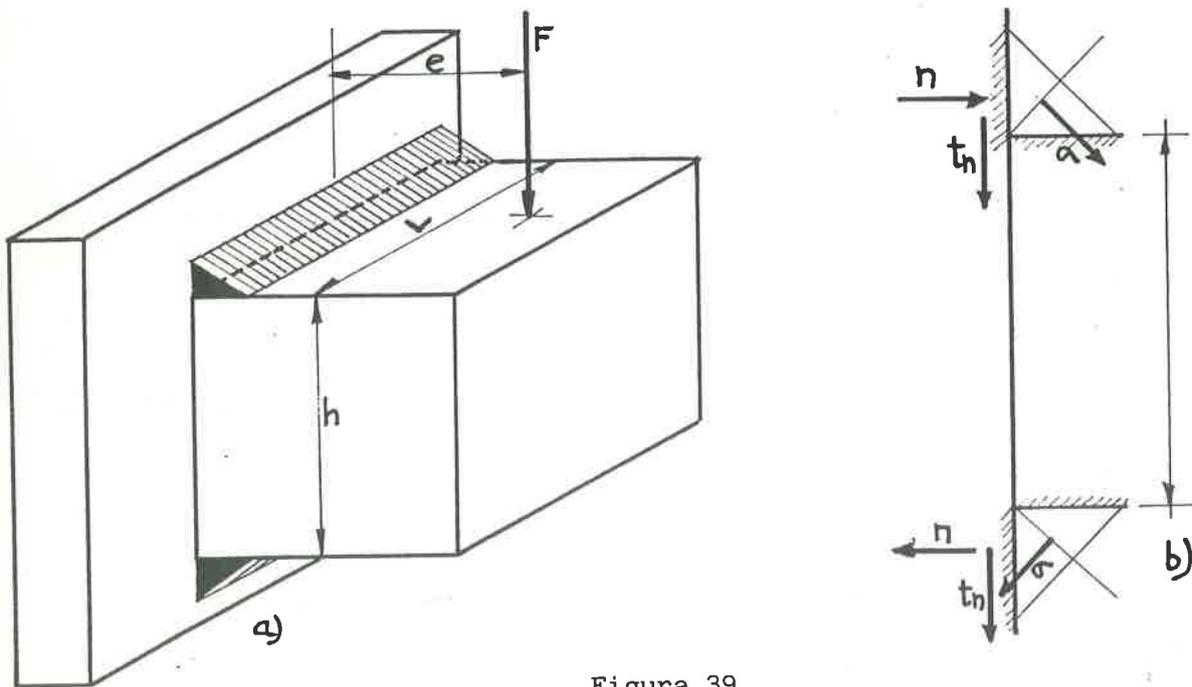


Figura 39

Como en el caso anterior iniciaremos el cálculo por el momento flector teniendo en cuenta que el caso actual en el  $W$  interviene el canto de la pieza a unir.

$$n_{\max} = \frac{F \cdot e}{W}$$

Como en la mayoría de los casos prácticos, será mucho mayor respecto al valor de  $a$ , algunos autores admiten que:

$$W = L \cdot h \cdot a$$

$$M_{\max} = \frac{F \cdot e}{L \cdot h \cdot a}$$

Los valores de máx. y máx. son:

$$Z_{\max} = \sigma_{\max} = \frac{1}{\sqrt{2}} n_{\max}$$

$$\text{Establecemos: } \sigma_c = \sqrt{\sigma_{\max}^2 + 1.8 Z_{n_{\max}}^2} = \sqrt{2.8 \sigma_{\max}^2} = 1.67 \sigma_{\max} \leq \sigma_u$$

En la práctica se toma directamente, y de forma comprobadas que entra dentro de la ponderación.

$$\frac{F \cdot e}{L \cdot h \cdot a} \leq 0.85 \sigma_u$$

Como caso contrario al anterior este tipo de nudo, si bien requiere las tensiones de flexión no admite al soportar grandes valores de esfuerzo constante, si éste es limitado lo consideramos uniformemente repartido y lo aplicaremos directamente.

$$t_{h_{\max}} = \frac{F}{2 \cdot L \cdot a}$$

Como puede deducirse este caso y el anterior si bien son distintas sus particularidades mecánicas, es también cierto que se complementan de forma que ambas soluciones realizadas en el mismo nudo son de comportamiento idoneo en su conjunto ya que se equilibran los propios deficiets de cada uno.

- Unión con cordones frontales longitudinales y transversales.

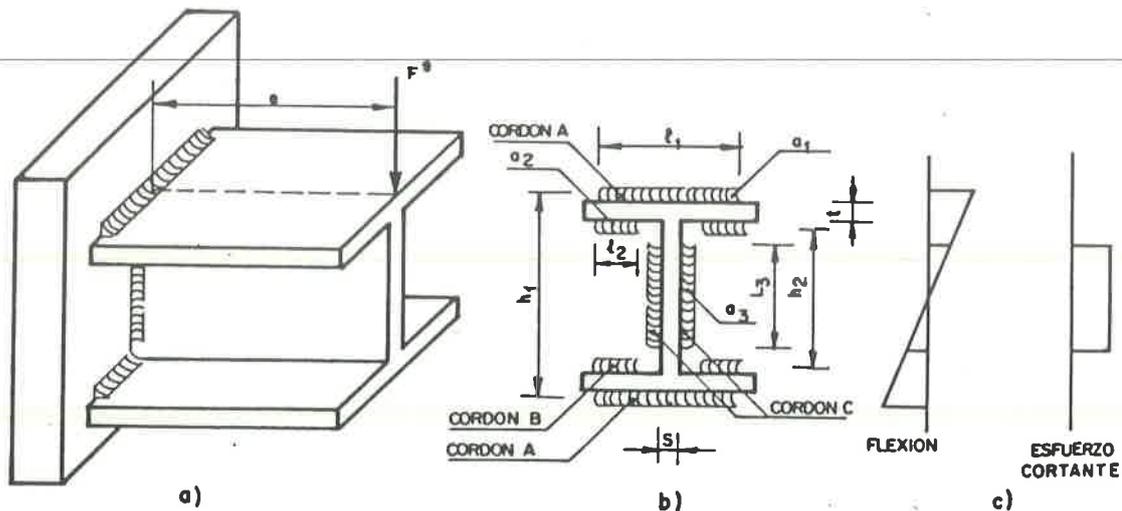


Figura 40

Consecuentes con el comentario anterior y de una forma directa consideramos que el esfuerzo cortante queda uniformemente distribuido con los cordones que unen el alma del perfil.

$$\bar{\tau}_a = \tau_a = \frac{F}{2 \cdot a_3 \cdot L_3}$$

Las tensiones debidas al momento flector se calculan teniendo en cuenta el area total de la reaccion de la garganta abatida sobre el plano de la junta, (igual a los casos precedentes).

$$\sigma_{h \max} = \frac{M}{W} \quad \sigma_{h \max} = \bar{\sigma}_{h \max}$$

Para los cordones exteriores solo se considera el momento flector con lo cual :

$$\sigma_c = \sigma_{\max}^2 + 1,8 \bar{\sigma}_{h \max}^2 = \sqrt{2,8 \sigma_{\max}^2} = \sqrt{1,4} \sigma_{\max} \leq \sigma_0$$

En la práctica se toma directamente.

$$\frac{M}{W} \leq 0,85 \sigma_0$$

- Unión con solo cordones laterales.

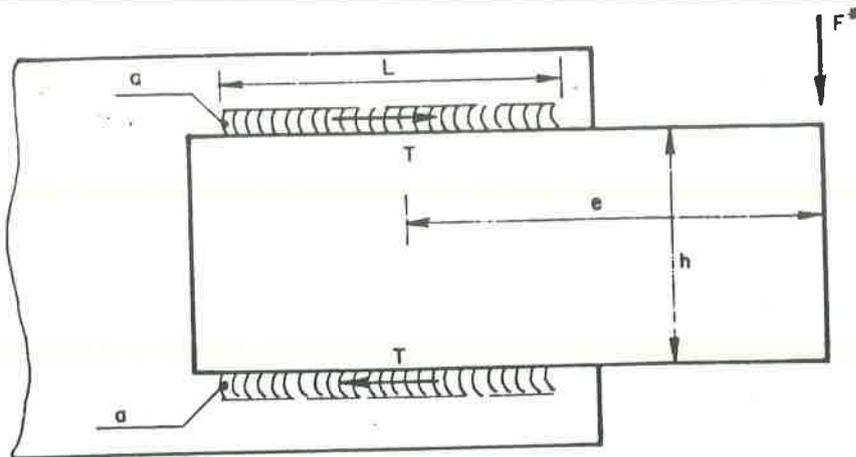


Figura 41

El momento que se aplica con el valor  $F$ , y vista la disposición del cordonaje, definimos como brazo mecánico del momento el valor de  $e$  desde el punto de aplicación de la carga  $F$  al centro de gravedad, (o punto medio de la longitud del cordón), y consideramos que los valores de  $T$  (por equivalente que da respuesta al sistema) se distribuyen uniformemente en toda su longitud.

Establecemos que  $M = F \cdot E = T (h+a)$ .

$$z_a = t_a$$

$$z_a = \frac{T}{L \cdot a} \leq \sigma_u$$

Las tensiones tangenciales  $t_n$  se pueden admitir uniformes en ambos cordones, por lo cual:

$$t_n = \frac{F}{2 \cdot L \cdot a}$$

Puede y se debe comprobar el conjunto con la ecuación de ponderación ya conocida.

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma^2 + 18(z_n^2 + z_a^2)} \leq \sigma_u$$

- Uniones con solo cordones frontales.

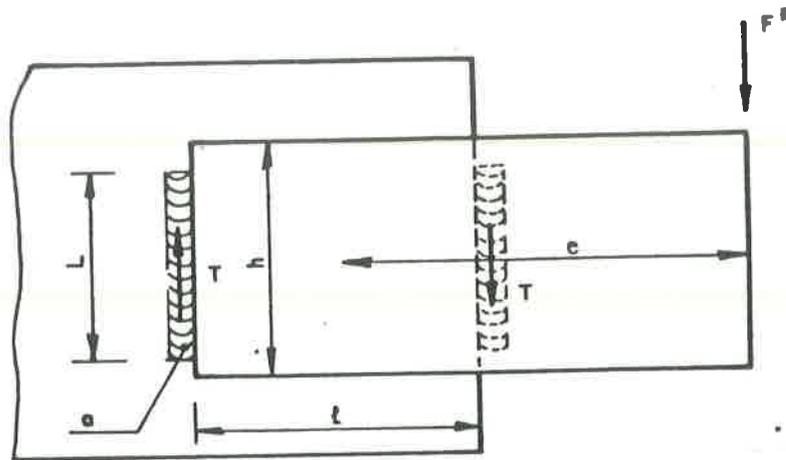


Figura 42

Caso de igual tratamiento que el anterior pues la única diferencia mecánica está en la distancia disposición del par que da respuesta al momento.

El valor  $e$ , distancia entre la aplicación del valor  $F$  al punto medio entre los dos cordones.

- Momento,  $M = F.E$

- Ecuación de equilibrio:  $F.E = T(1+a)$

$$\bar{\epsilon}_a = \frac{T}{L.a.}$$

Las tensiones tangenciales producidas por la carga  $F$  se pueden considerar como uniformemente distribuidas en ambos cordones.

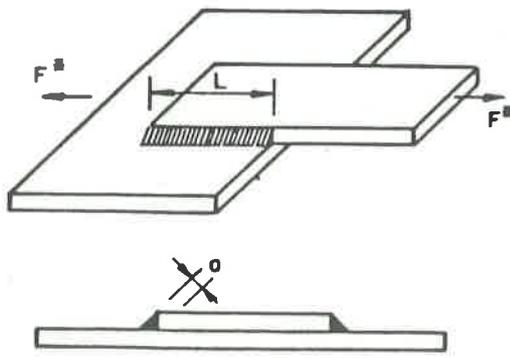
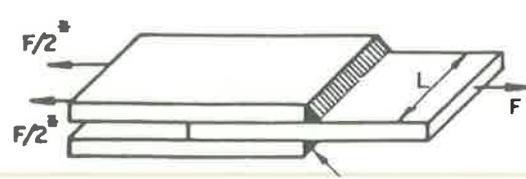
$$\epsilon_a = t_a = \frac{F}{2.L.a}$$

Como puede apreciarse en todas las demostraciones de nudos tipo, la constante es siempre repetida y conjugando con al formula inicial de ponderación de tensiones. Para el alumno que se inicia se indica es de interes que una vez planteada la posibilidad de una solución, éste, sepa intuir como se reparten las distintas tensiones,  $(\sigma, \bar{\epsilon}_a, \bar{\epsilon}_h)$  o en el plano abatido, de

esta forma abordan el problema con más rapidez que en el fondo es el dominio del mismo.

Se adjunta una tabla de uniones planas, las cuales vienen acompañadas de las experiencias prácticas, si bien es recomendable no utilizarlos, si no se ha realizada el estudio anterior.

UNIONES PLANAS (MV-103).

Caso	Solicita- ción	Unión	Expresión práctica
1	Tracción	<p>Sólo soldaduras laterales</p> 	$\frac{F^*}{0,75 \sum a L} \leq \sigma_u$
2	Tracción	<p>Sólo soldaduras frontales</p> 	$\frac{F^*}{0,85 \sum a L} \leq \sigma_u$

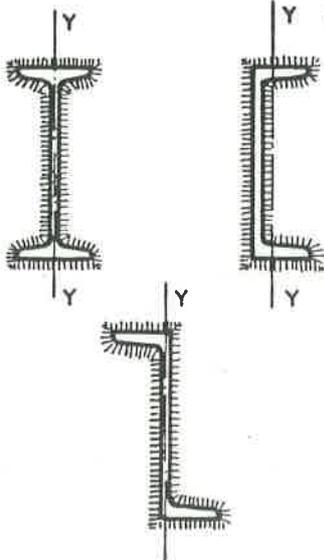
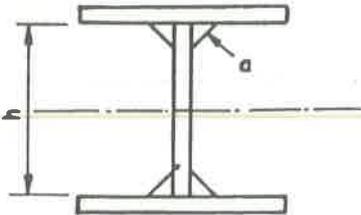
Continuación.

Caso	Solicita- ción	Unión	Expresión práctica																						
3	Tracción	<p>Sólo soldaduras oblicuas</p>	$\frac{F^*}{\beta \sum a L} \leq \sigma_u$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>0°</th> <th>β</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0,75</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>0,77</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>0,81</td> </tr> <tr> <td>90</td> <td>0,85</td> </tr> </tbody> </table>	0°	β	0	0,75	30	0,77	60	0,81	90	0,85												
0°	β																								
0	0,75																								
30	0,77																								
60	0,81																								
90	0,85																								
4	Tracción	<p>Soldaduras frontales y laterales, combinadas</p>	<p>Para <math>L_2 \geq 1,5 h</math>.</p> <p>Sólo se consideran los cordones laterales.</p> $\frac{F^*}{0,75 \sum a L} \leq \sigma_u$ <p>Se debe evitar: El cordón <math>L_3</math> del caso 6.</p>																						
5	Tracción	<p>Soldaduras frontales y laterales, combinadas</p>	<p>Para <math>0,5 h &lt; L_2 \leq 1,5 h</math>.</p> <p>Esfuerzo máximo capaz de transmitir la unión.</p> $F_{m\acute{a}x} = K F_1 + F_2$ $F_1 = \beta L_1 a_1 \sigma_u$ $F_2 = 0,75 \sum a_2 L_2 \sigma_u$ <p>En estas expresiones:</p> $K = \frac{1}{1 + 2 \text{sen}^2 \theta}$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>θ</th> <th>K</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>0,95</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>0,81</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>0,66</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>0,59</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>0,46</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>0,40</td> </tr> <tr> <td>70</td> <td>0,36</td> </tr> <tr> <td>80</td> <td>0,34</td> </tr> <tr> <td>90</td> <td>0,33</td> </tr> </tbody> </table> <p>Los valores de β según el caso 3.</p> <p>Debe cumplirse: <math>F^* \leq F_{m\acute{a}x}</math></p>	θ	K	0	1,00	10	0,95	20	0,81	30	0,66	40	0,59	50	0,46	60	0,40	70	0,36	80	0,34	90	0,33
θ	K																								
0	1,00																								
10	0,95																								
20	0,81																								
30	0,66																								
40	0,59																								
50	0,46																								
60	0,40																								
70	0,36																								
80	0,34																								
90	0,33																								

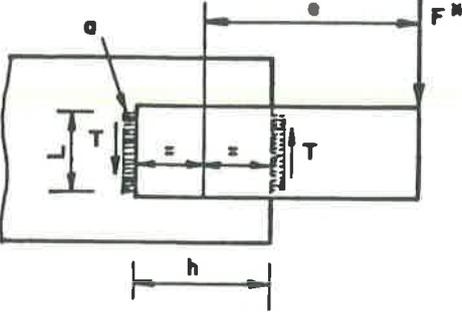
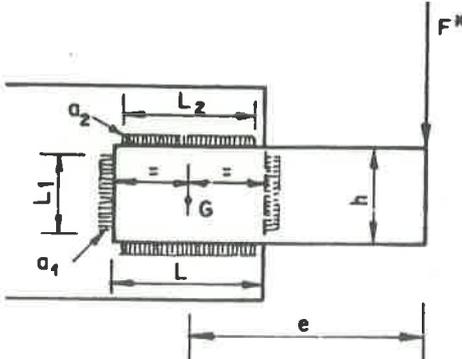
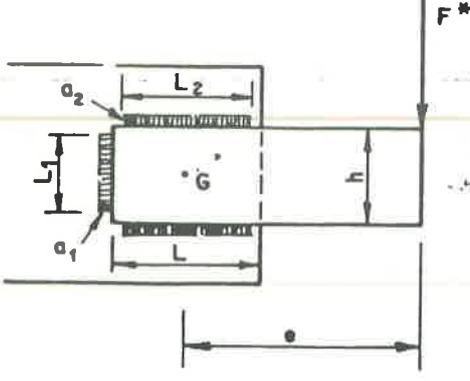
Continuación.

Caso	Solicita- ción	Unión	Expresión práctica
15	Flexión, torsión y esfuerzo cortante combina- dos		<p>Para <math>0,5 h &lt; L &lt; 2 h</math></p> <p>Caso a):</p> $M_i^* = F^* e_2 \quad M_i^* = F^* e_1$ <p>Los valores de <math>\sigma</math>, <math>\tau_n</math> y <math>\tau_a</math>, debidos a <math>M_i</math> y <math>F^*</math>, se obtienen como en el caso 13.</p> <p>Los valores de <math>\sigma</math> y <math>\tau_n</math>, debidos a <math>M_i^*</math>, se obtienen como en el caso 10 (<math>\tau_a^{M_i} = 0</math>).</p> <p>Caso b):</p> <p>Debido a <math>M_i^*</math> obtenemos unas tensiones:</p> $\tau_a^{M_i} = \frac{M_i^*}{2 A a} \quad \sigma^{M_i} = 0 \quad \tau_n^{M_i} = 0$ <p>Donde:</p> <p><math>A</math> = Área encerrada por la línea media de la sección de garganta de las soldaduras, abatida sobre el plano de la unión.</p> <p><math>a</math> = Dimensión de garganta de la soldadura en el punto que se considera.</p> <p>El resto de las tensiones y la comprobación de las soldaduras como en el caso a</p> <p>Debe cumplirse en todos los casos:</p> $\sigma_c = \sqrt{\sigma^2 + 1,8 (\tau_a^2 + \tau_n^2)} \leq \sigma_n$
16	Torsión y esfuerzo cortante combina- dos		<p>En general se pueden omitir en estas uniones los cálculos de las tensiones debidas a la torsión.</p>

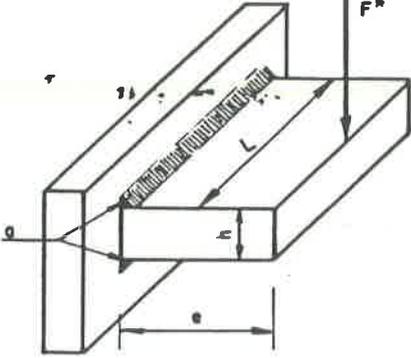
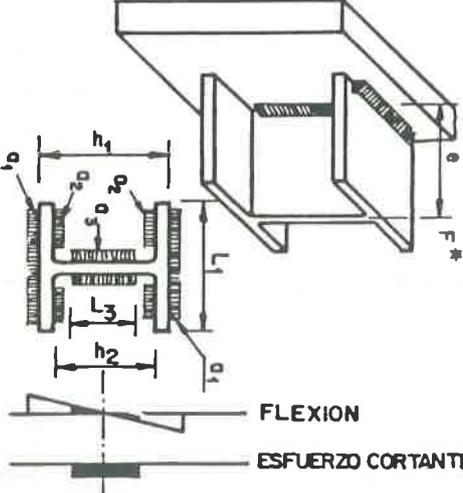
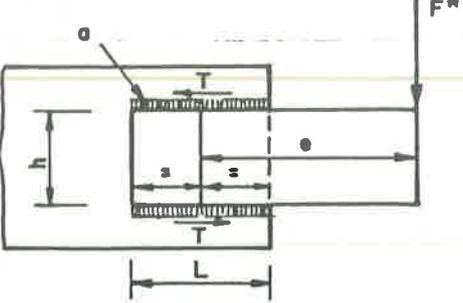
Continuación.

Caso	Solicita- ción	Unión	Expresión práctica										
17	Torsión y esfuerzo cortante combinados		<p>a) Cuando existen soldaduras a ambos lados de las alas:</p> $n_{\text{máx}} = \frac{M_t^*}{W_y} \cdot k$ $\sigma = \tau_n = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{e}{a_1 + a_2} \cdot \frac{M_t^*}{W_y} \cdot k$ $\sigma_c = 1,18 \cdot \frac{e}{a_1 + a_2} \cdot \frac{M_t^*}{W_y} \cdot k \leq \sigma_u$ <p>b) Cuando hay solamente soldaduras en el lado exterior de las alas:</p> $\sigma = \tau_n = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{e}{a_1} \cdot \frac{M_t^*}{W_y} \cdot k$ $\sigma_c \approx 1,18 \cdot \frac{e}{a_1} \cdot \frac{M_t^*}{W_y} \cdot k \leq \sigma_u$ <p>Siendo:</p> <p><math>W_y</math> = Módulo resistente de las soldaduras respecto a Y.</p> <p><math>e</math> = Espesor medio del alma.</p> <p><math>a_1</math> = Garganta de las soldaduras exteriores.</p> <p><math>a_2</math> = Garganta de las soldaduras interiores.</p> <p><math>k</math> = Coeficiente de forma.</p> <table border="1" data-bbox="911 1323 1445 1431"> <thead> <tr> <th>Perfil</th> <th>I</th> <th>H</th> <th>U</th> <th>Z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K</td> <td>4,5</td> <td>6 a 10</td> <td>5,5</td> <td>7,5</td> </tr> </tbody> </table>	Perfil	I	H	U	Z	K	4,5	6 a 10	5,5	7,5
Perfil	I	H	U	Z									
K	4,5	6 a 10	5,5	7,5									
18	Unión de alma con plata- banda		<p>Debe cumplirse:</p> $\frac{F^* \cdot S}{0,75 \cdot 2 \cdot a \cdot I_x} \leq \sigma_u$ <p>Siendo:</p> <p><math>F^*</math> = Esfuerzo cortante que solicita a la sección.</p> <p><math>S</math> = Momento estático de la platibanda respecto al eje de flexión pura.</p> <p><math>I_x</math> = m. d. i. de la sección completa respecto al mismo eje.</p> <p>Puede, del lado de la seguridad, utilizar la fórmula simplificada siguiente:</p> $\frac{F^*}{0,75 \cdot 2 \cdot a \cdot h} \leq \sigma_u$										

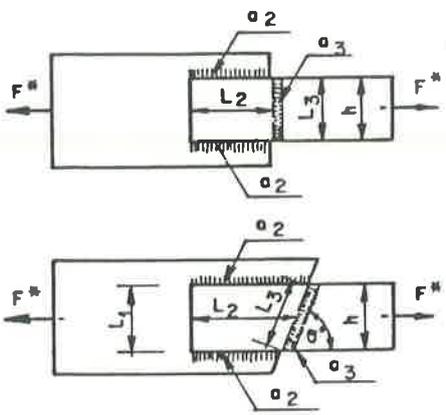
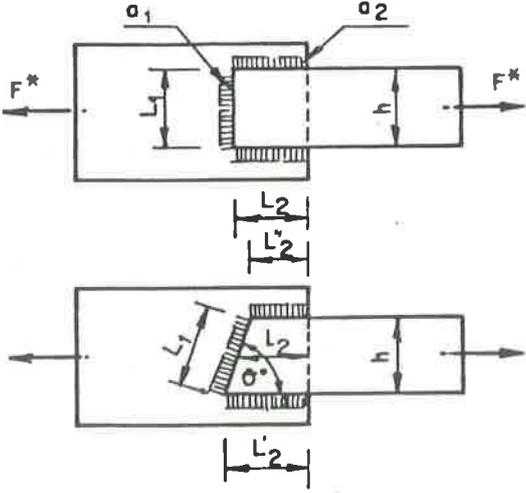
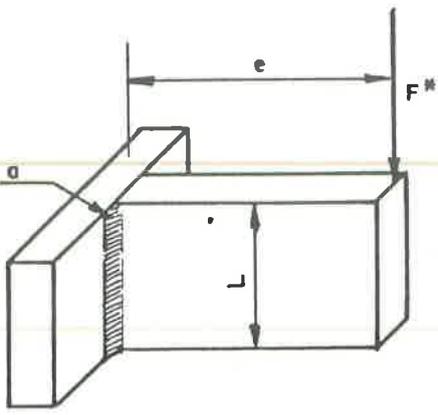
Continuación.

Caso	Solicita- ción	Unión	Expresión práctica
12	Torsión y esfuerzo cortante combina- dos	<p>Sólo soldaduras frontales</p> 	<p>Para <math>0,5 h &lt; L &lt; 2 h</math></p> $\sigma_c = \sqrt{1,8} \frac{F^*}{L a} \left( \frac{1}{2} + \frac{e}{h+a} \right) \approx$ $\approx 1,34 \frac{F^*}{L a} \left( \frac{1}{2} + \frac{e}{h+a} \right) \leq \sigma_u$
13	Torsión y esfuerzo cortante combina- dos	<p>Dos soldaduras laterales y dos frontales</p> 	<p>Para <math>0,5 h &lt; L_2 &lt; 2 h</math></p> <p>Máximo momento torsor admisible para las soldaduras 1:</p> $M_1 = 0,75 \sigma_u L_1 a_1 (L + a_1)$ <p>Máximo momento torsor admisible para las soldaduras 2:</p> $M_2 = 0,75 \sigma_u L_2 a_2 (h + a_2)$ <p>Máximo esfuerzo cortante admisible para las soldaduras 1:</p> $F_1 = 1,5 \sigma_u L_1 a_1$ <p>Máximo esfuerzo cortante admisible para las soldaduras 2:</p> $F_2 = 1,7 \sigma_u L_2 a_2$ <p>El momento torsor <math>M_t^* = F^* \cdot e</math> se descompone proporcionalmente a <math>M_1</math> y <math>M_2</math>.</p> <p>El esfuerzo cortante <math>F^*</math> se descompone proporcionalmente a <math>F_1</math> y <math>F_2</math>.</p> <p>Las soldaduras 1 se calculan como el caso 12.</p> <p>Las soldaduras 2 se calculan como el caso 11.</p>
14	Torsión y esfuerzo cortante combina- dos	<p>Dos soldaduras laterales y una frontal</p> 	<p>Para <math>0,5 h &lt; L_2 &lt; 2 h</math></p> <p>Máximo momento admisible para la soldadura 1:</p> $M_1 = 0,14 \sigma_u L_1^2 a_1$ <p>Máximo momento torsor admisible para las soldaduras 2:</p> $M_2 = 0,75 \sigma_u L_2 a_2 (h + a_2)$ <p>El momento <math>M^* = F^* \cdot e</math> se descompone proporcionalmente a <math>M_1</math> y <math>M_2</math>.</p> <p>El esfuerzo cortante <math>F^*</math> (si está contenido en el plano de la junta, o su excentricidad es pequeña) se considera absorbido por las soldaduras 2.</p> <p>Las soldaduras 1 se calculan a flexión pura.</p> <p>Las soldaduras 2 se calculan como el caso 11.</p>

Continuación.

Caso	Solicita- ción	Unión	Expresión práctica
9	Flexión simple	<p>Sólo soldaduras frontales transversales</p> 	$\sigma = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{F \cdot e}{W}$ $\tau_n = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{F \cdot e}{W}$ $\sigma_c = \sqrt{\sigma^2 + 1,8 \tau_n^2} = \frac{F \cdot e}{W} \sqrt{1,4} \approx 1,18 \frac{F \cdot e}{W} \leq \sigma_u$ <p>Siendo <math>W</math> el módulo resistente de las soldaduras.</p> <p>Para <math>h \gg a</math></p> $\sigma_c \approx 1,18 \frac{F \cdot e}{L h a} \leq \sigma_u$
10	Flexión simple	<p>Soldaduras frontales, longitudinales y transversales</p>  <p>FLEXION ESFUERZO CORTANTE</p>	<p>Soldaduras <math>a_1</math>:</p> $\sigma_c = \sqrt{1,4} \frac{F \cdot e}{W} \approx 1,18 \frac{F \cdot e}{W} \leq \sigma_u$ <p>Soldaduras <math>a_2</math>:</p> $\sigma_c \approx 1,18 \frac{h_2 - a_2}{h_1 - a_1} \cdot \frac{F \cdot e}{W} \leq \sigma_u$ <p>Soldaduras <math>a_3</math>:</p> $\sigma_c = \sqrt{1,4 \left( \frac{F \cdot e}{W} \cdot \frac{L_3}{h_1 + a_1} \right)^2 + 1,8 \left( \frac{F \cdot e}{2 L_3 a_3} \right)^2} \leq \sigma_u$ <p>Siendo <math>W</math> el módulo resistente de las soldaduras.</p> <p>Puede también considerarse absorbido el momento por las soldaduras <math>a_1</math> y <math>a_2</math> y el esfuerzo cortante por las soldaduras <math>a_3</math>.</p>
11	Torsión y esfuerzo cortante combinados	<p>Sólo soldaduras laterales</p> 	<p>Para <math>0,5 h &lt; L &lt; 2 h</math></p> $\sigma_c = \sqrt{1,4 \left( \frac{F \cdot e}{L a} \right)^2 + 1,8 \left( \frac{F \cdot e}{h + a} \cdot \frac{1}{L a} \right)^2} =$ $= \frac{F \cdot e}{L a} \sqrt{1,4 + 1,8 \left( \frac{e}{h + a} \right)^2} \leq \sigma_u$

Continuación.

Caso	Solicita- ción	Unión	Expresión práctica
6	Tracción	<p>Soldaduras frontales y laterales, combinadas</p> 	<p>Para <math>0,5 h &lt; L_2 \leq 1,5 h</math>.</p> <p>Esfuerzo máximo capaz de transmitir la unión.</p> $F_{m\acute{a}x} = 1/3 F_2 + F_3$ $F_2 = 0,75 \sum a_2 L_2 \sigma_u$ $F_3 = \beta L_3 a_3 \sigma_u$ <p>Los valores de <math>\beta</math> según el caso 3.</p> <p>Debe cumplirse:</p> $F^* \leq F_{m\acute{a}x}$
7	Tracción	<p>Soldaduras frontales y laterales, combinadas</p> 	<p>Para <math>L_2 \leq 0,5 h</math>.</p> <p>Esfuerzo máximo capaz de transmitir la unión.</p> $F_{m\acute{a}x} = F_1 + 1/3 F_2$ $F_1 = \beta L_1 a_1 \sigma_u$ $F_2 = 0,75 \sum L_2 a_2 \sigma_u$ <p>Los valores de <math>\beta</math> según el caso 3.</p> <p>Debe cumplirse:</p> $F^* \leq F_{m\acute{a}x}$
8	Flexión simple	<p>Sólo soldaduras frontales longitudinales</p> 	<p>Debe cumplirse:</p> $\sigma_e \leq \sqrt{\sigma^2 + 1,8 (\tau_a^2 + \tau_n^2)} \leq \sigma_u$ $\sigma = \frac{3}{\sqrt{2}} \cdot \frac{F^* e}{a L^2}$ $\tau_n = \frac{3}{\sqrt{2}} \cdot \frac{F^* e}{a L^2}$ $\tau_a = \frac{F^*}{2 a L}$ <p>Para <math>e \gg L</math>:</p> $\sigma_e = 3,55 \frac{F^* e}{a L^2} \leq \sigma_u$



TITULOS PUBLICADOS Y EN PREPARACION  
DEL MISMO AUTOR

SERIE TECNOLOGIA

01. PATOLOGIA EN ESTRUCTURAS
- \*02. COMENTARIOS SOBRE CIMENTACIONES
03. METODO ASCENDENTE-DESCENDENTE
- \*04. MUROS DE CONTENCIÓN
05. CONTROL DE EJECUCION DE ESTRUCTURAS POSTENSADAS
06. LAMINAS, CRITERIOS EN DISEÑO Y CONSTRUCCION
- \*07. UNIONES SOLDADAS, (Complementa MV 103)
08. MUROS PANTALLA, (Dimensionado)
09. LOSAS BIDIRECCIONALES Y SU NORMATIVA
10. CALCULO DE ENCOFRADOS HORIZONTALES

(\* ) ACTUALMENTE PUBLICADOS

TITULOS PUBLICADOS Y EN PREPARACION  
DEL MISMO AUTOR

SERIE DIVULGACION

- \*01. ENCOFRADOS, ESTRUCTURAS AUXILIARES
- 02. MOVIMIENTO DE TIERRAS EN EDIFICACION
- 03. BOVEDAS, LAMINAS, MEMBRANAS
- 04. HORMIGON, (Preparación, transporte, colocación)
- 05. ESTRUCTURAS EN EDIFICACION
- 06. CIMENTACIONES, (Tipologías, condiciones mecánicas)
- 07. FORJADOS, (Tipologías, condiciones mecánicas)
- 08. ENSAYO DEL PROCESO DE CONSTRUCCION  
DE UNA VIVIENDA
- 09. EL ARQUITECTO TECNICO Y EL  
CONTROL DE EJECUCION
- 10. (En estudio)

(\* ACTUALMENTE PUBLICADOS



