

## MÓDULO III: SOLDADURA

# TEMA 9: Conceptos generales de procesos de soldadura

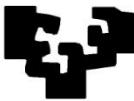
---

TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN

Grado en Ingeniería en Organización Industrial

DPTO. DE INGENIERÍA MECÁNICA

Universidad del País Vasco – Euskal Herriko Unibertsitatea



- 1. Conceptos y definiciones**
- 2. Tipos de uniones soldadas**
- 3. Preparación de juntas y técnicas multipasada**
- 4. Aspectos metalúrgicos básicos en la soldadura de aceros**

### DEFINICIÓN:

- **Unión a nivel atómico y buscando la máxima continuidad metálica/mecánica posible**



### REQUISITOS:

- Aportar energía, generalmente en forma de calor
- Asegurar la limpieza de las superficies a unir
- Proteger la soldadura del entorno durante su realización, fundamentalmente contra la oxidación
- Dar lugar a una estructura metalográfica adecuada

### CONCEPTO DE SOLDABILIDAD:

- INTEGRIDAD METALÚRGICA
- INTEGRIDAD MECÁNICA
- COMPORTAMIENTO EN SERVICIO



Soldadura de conducciones capilares  
de 6,2mm de diámetro para la  
industria nuclear

Vasija nuclear  
En la sección primaria se  
sueldan aceros austeníticos  
de alta aleación; en la  
secundaria, materiales  
resistentes a la temperatura y  
aceros de construcción



## 1. Conceptos y definiciones

### DEFINICIÓN:

- **Unión a nivel atómico y con continuidad metálica completa**

### REQUISITOS:

- Aportar energía, generalmente en forma de calor
- Asegurar la limpieza de las superficies a unir
- Proteger la soldadura del entorno durante su realización
- Dar lugar a una estructura metalográfica adecuada

### CONCEPTO DE SOLDABILIDAD:

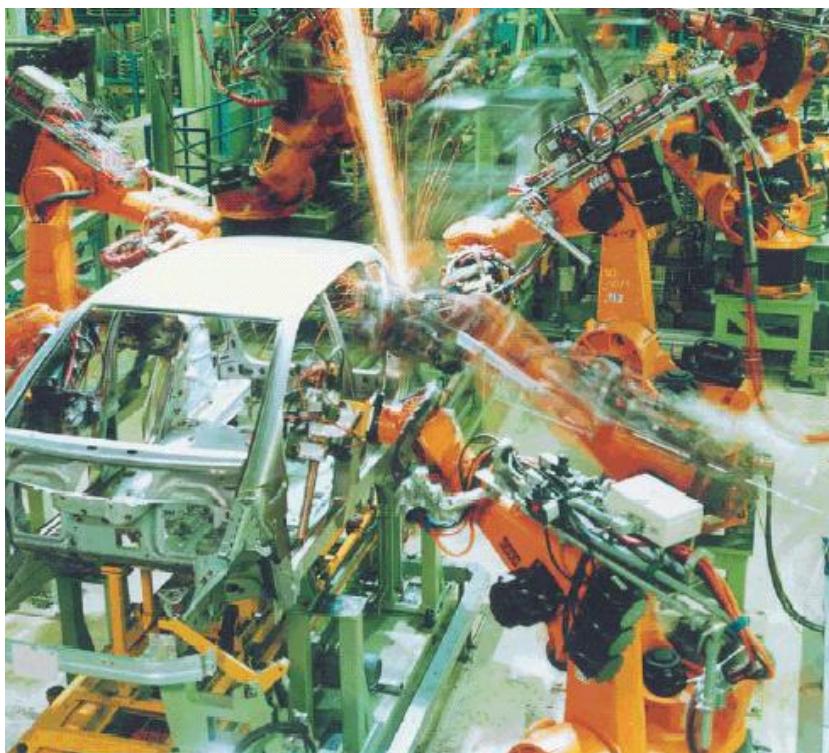
- INTEGRIDAD METALÚRGICA
- INTEGRIDAD MECÁNICA
- COMPORTAMIENTO EN SERVICIO



Robot equipado con pinzas para la soldadura por resistencia para la industria del automóvil

### Sector del Automóvil

La soldadura por resistencia robotizada se utiliza ampliamente en las líneas de montaje de automóviles



### DEFINICIÓN:

- **Unión a nivel atómico y con continuidad metálica completa**

### REQUISITOS:

- Aportar energía, generalmente en forma de calor
- Asegurar la limpieza de las superficies a unir
- Proteger la soldadura del entorno durante su realización
- Dar lugar a una estructura metalográfica adecuada

### CONCEPTO DE SOLDABILIDAD:

- INTEGRIDAD METALÚRGICA
- INTEGRIDAD MECÁNICA
- COMPORTAMIENTO EN SERVICIO

**Industria Aeronáutica**  
**Sistemas aeronáuticos (trenes de aterrizaje, controles de vuelo, subsistemas de combustible, control de potencia, anti-hielo, etc.) utilizan tuberías rígidas y flexibles para la circulación de fluidos.**



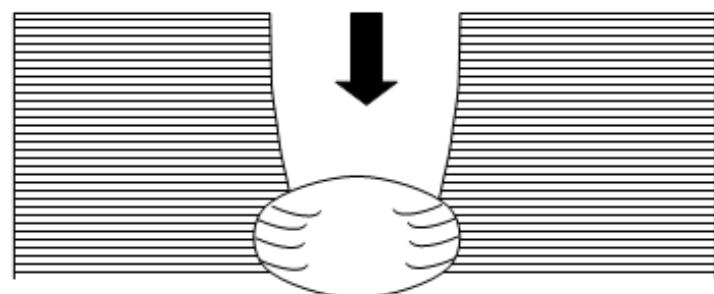
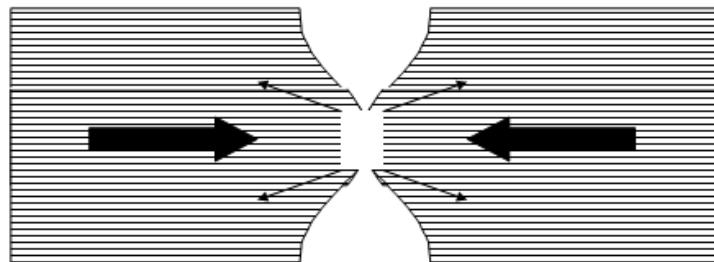
MOTOR AERONAUTICO P&W JT8D



**Su fabricación exige soldadura de alta calidad de tubos en aleaciones de titanio, aluminio, aceros especiales, etc**

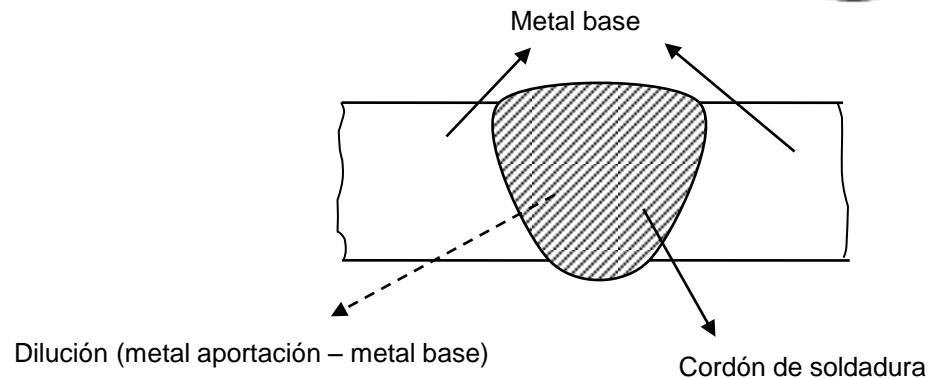
### MÉTODOS PARA CONSEGUIR LA UNIÓN

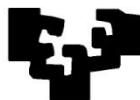
- Aplicación de una presión entre las superficies a unir , produciéndose una deformación plástica (procesos de ESTADO SÓLIDO)
  - Rotura de posibles películas de óxido
  - Posibilidad de realizarse en frío y en caliente
- Construcción de un puente de METAL LÍQUIDO entre las superficies a unir
  - Es el método más utilizado
  - Existen multitud de procesos de este tipo



### TERMINOLOGÍA BÁSICA

- Metal base
- Cordón de soldadura
- Material de aportación
- Dilución





# 1. Conceptos y definiciones

## CLASIFICACIÓN DE PROCESOS (en función de la fuente de energía utilizada)

- **Procesos Mecánicos**
  - Soldadura por fricción
  - Friction Stir Welding (FSW)
  - Otros...



- **Procesos Termo-Químicos**
  - Oxi-acetileno
  - Plasma
  - Otros...



- **Procesos de Arco Eléctrico**
  - Electrodo recubierto
  - MIG/MAG
  - TIG
  - Arco sumergido
  - Otros...



- **Procesos de Resistencia Eléctrica**
  - Soldadura por puntos
  - Soldadura por resistencia continua
  - Soldadura de pernos
  - Otros...

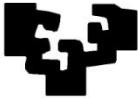


- **Procesos de Energía Radiante**
  - Electron Beam
  - Láser



Aunque también podrían clasificarse según otros criterios, por ejemplo el modo de protección de la soldadura:

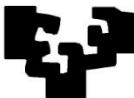
- Procesos protegidos por vacío
- Procesos protegidos por Gas Inerte
- Procesos protegidos por Gas Activo
- Procesos protegidos por Flujo Decapante



## 2. Tipos de uniones soldadas

**La selección de las características de la unión soldada se realiza en base a:**

- **Comportamiento en servicio**
  - Resistencia mecánica (estática)
  - Comportamiento dinámico
  - Fatiga
  - Corrosión
  - Otros...
- **Criterios económicos**
  - Coste (equipo, utilajes, fungibles, mano de obra,...)
  - Necesidad de preparación de juntas: posibilidad de unión de componentes gruesos
  - Necesidad de usar técnicas multi-pasada
  - Otros...
- **Tipo de unión soldada**
- **Accesibilidad**



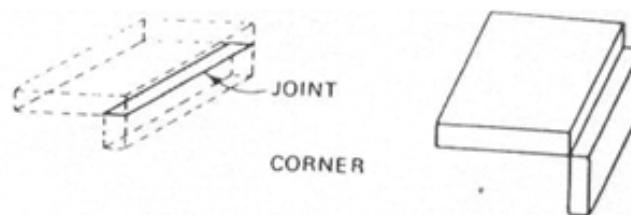
## 2. Tipos de uniones soldadas

Pueden distinguirse básicamente 4 TIPOS DE UNIONES soldadas:

- A tope



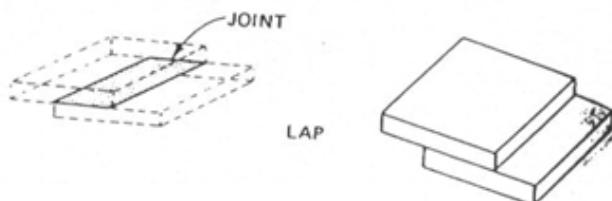
- En esquina



- En T



- Por superposición

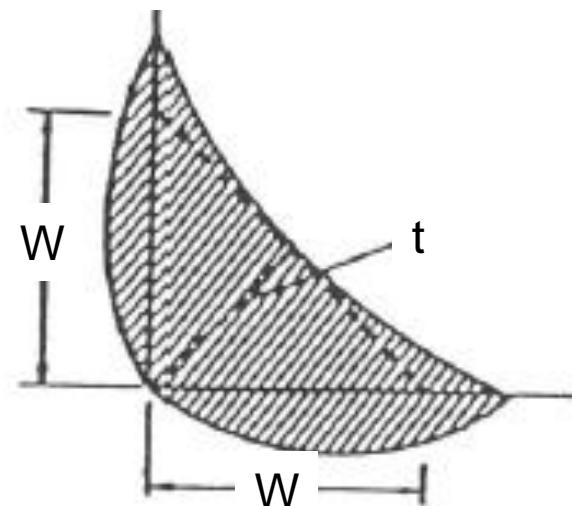
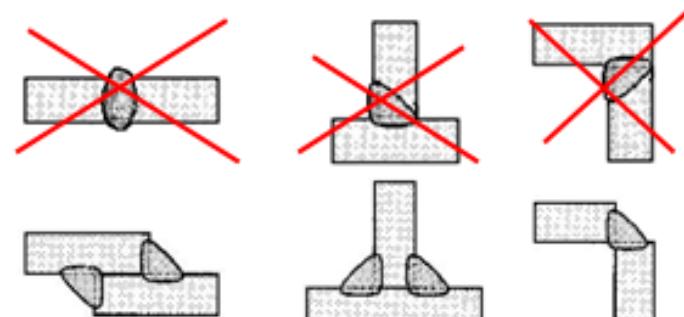




## 2. Tipos de uniones soldadas

### Soldadura ortogonal (sección triangular) vs soldadura a tope

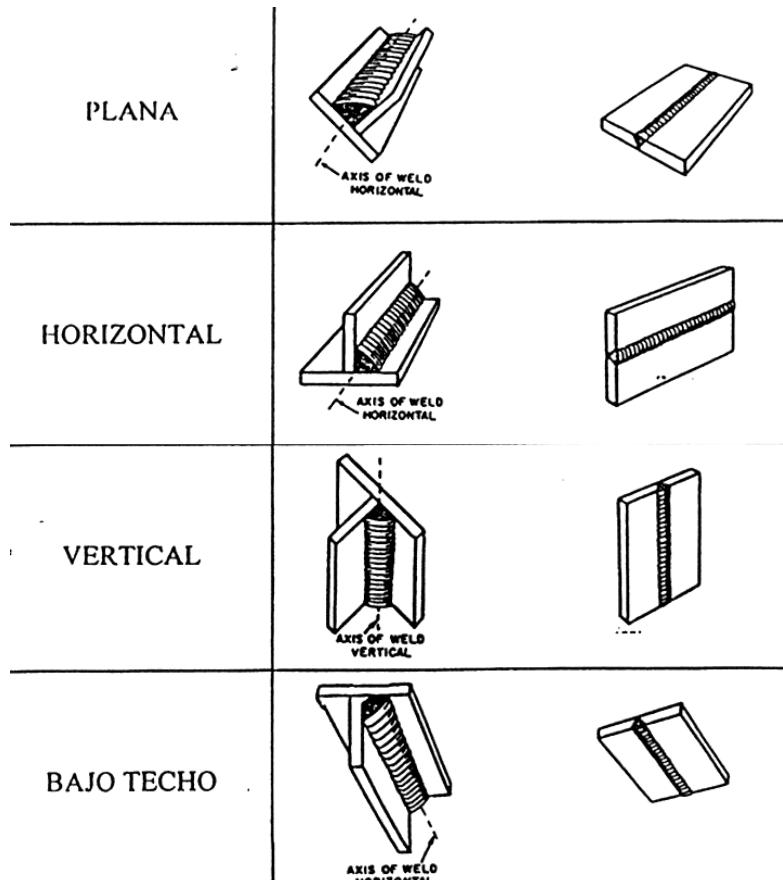
- Cuando el diseño lo permita es preferible usar soldadura ortogonal a soldadura a tope
- Soldadura ortogonal:
  - No requiere preparación de bordes
  - Proporciona mejor ajuste
- Dimensiones del cordón en triángulo
  - El consumo de material de aportación es proporcional a  $W$
  - La resistencia está relacionada con la dimensión  $t$  (garganta)
  - La máxima resistencia y el mínimo coste se consiguen usando cordón a  $45^\circ$



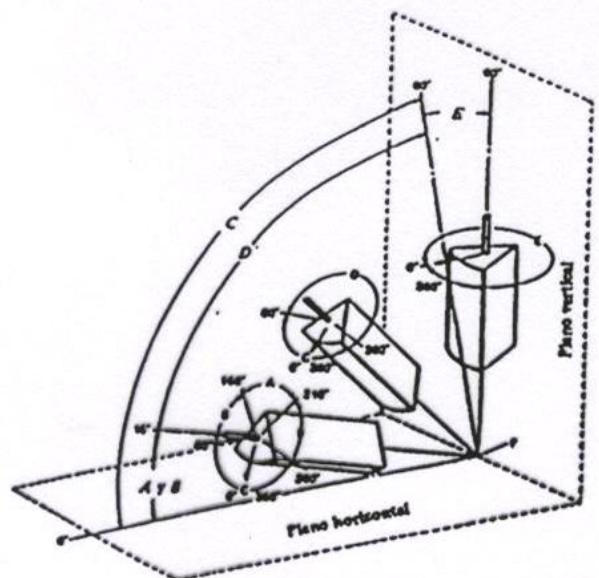
## 2. Tipos de uniones soldadas

### Accesibilidad

- **Posición espacial del cordón y capacidad del proceso**



Posición	Diagrama	Inclinación de ejes	Rotación de la cara
Plana	A	0°-15°	150°-210°
Horizontal	B	0°-15°	80°-50° 210°-280°
Bajo techo	C	0°-80°	0°-80° 280°-360°
Vertical	D, E	15°-80° 80°-90°	80°-280° 0°-360°



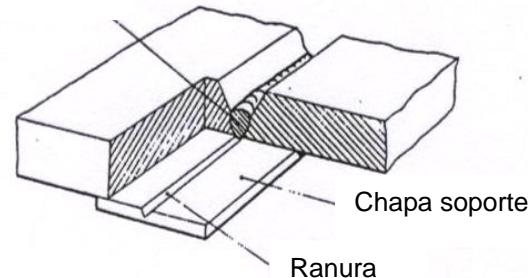
## Preparación de juntas

- **El objetivo fundamental de la preparación de juntas es obtener la máxima eficiencia del calor aportado**
- **La penetración del proceso mide su capacidad para generar cordones profundos. Puede no ser suficiente debido a:**
  - **El grosor excesivo de los componentes a unir**
  - **Un aumento de la energía para aumentar la penetración causaría daños y distorsiones en la junta**
- **En estos casos es precisa una preparación previa de los bordes de la junta, lo que aumenta los costes**

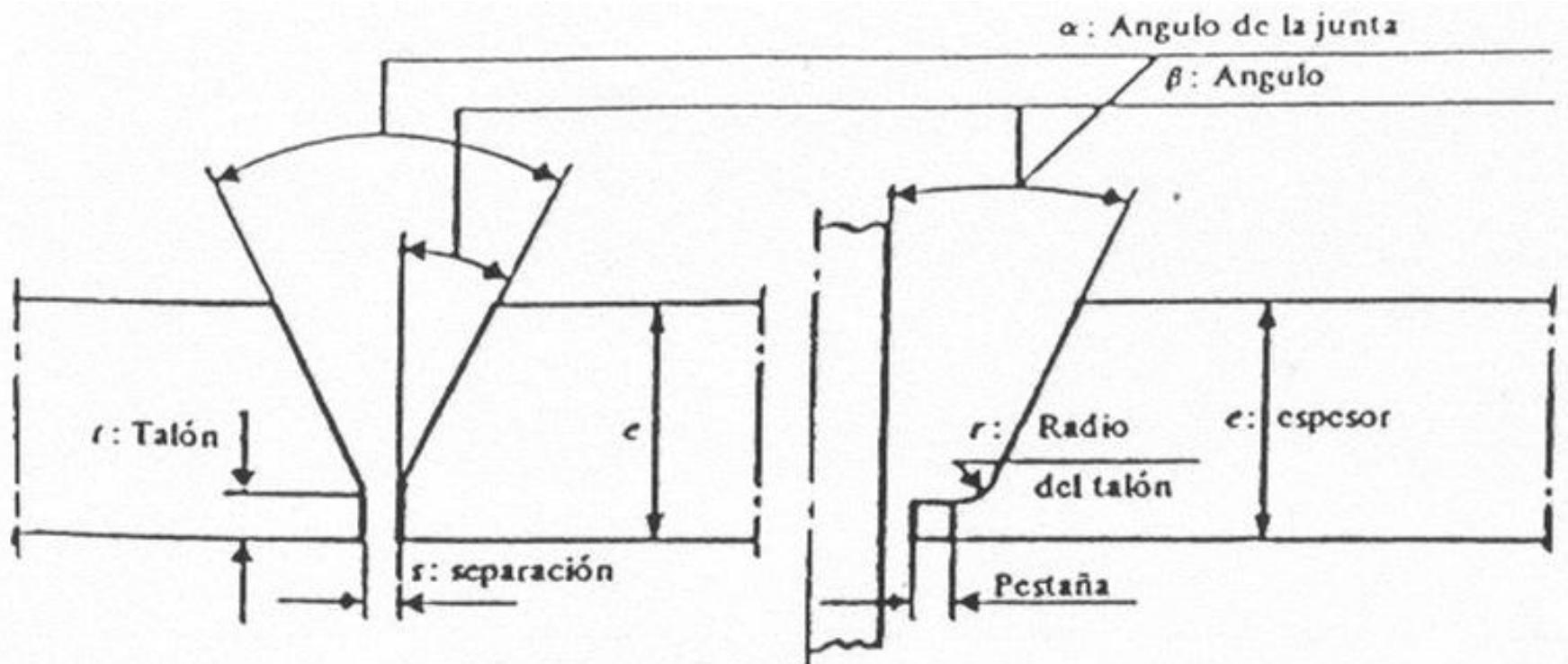
	Por una cara	Por dos caras
Triángulo		
Bordes rectos		
Chaflán		
Chaflán en V		
Chaflán en J		
Chaflán en U		

#### Preparación de juntas: principales parámetros

Pasada de raíz



- Ángulo de la junta:  $\alpha$  ( $2\beta$ )
- Separación:  $s$
- Talón:  $t$
- Radio del talón:  $r$
- Posibilidad de usar chapa soporte



### Técnicas multipasada

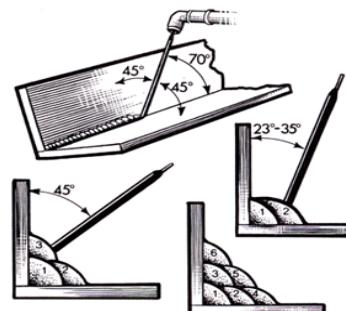
- Como complemento a la preparación de bordes para espesores grandes puede recurrirse al uso de varias pasadas de soldadura
- El número de pasadas depende de:
  - El espesor de los materiales a unir
  - Las capacidades del proceso de soldadura

Espesor (mm)	0,13	0,4	1,6	3,2	4,8	6,4	10	12,7	19	25	51	102	203
Pasada simple sin preparación													
Pasada simple con preparación													
Pasadas múltiples													
Cordón triangular, p. simple													

SMAW

Espesor (mm)	0,13	0,4	1,6	3,2	4,8	6,4	10	12,7	19	25	51	102	203
Pasada simple sin preparación													
Pasada simple con preparación													
Pasadas múltiples													

TIG

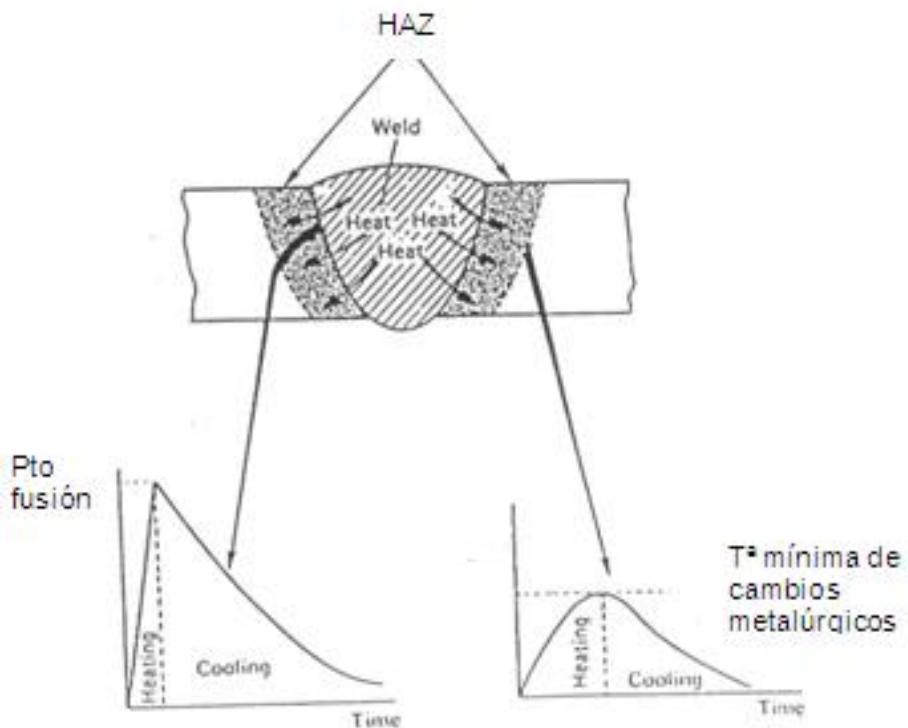
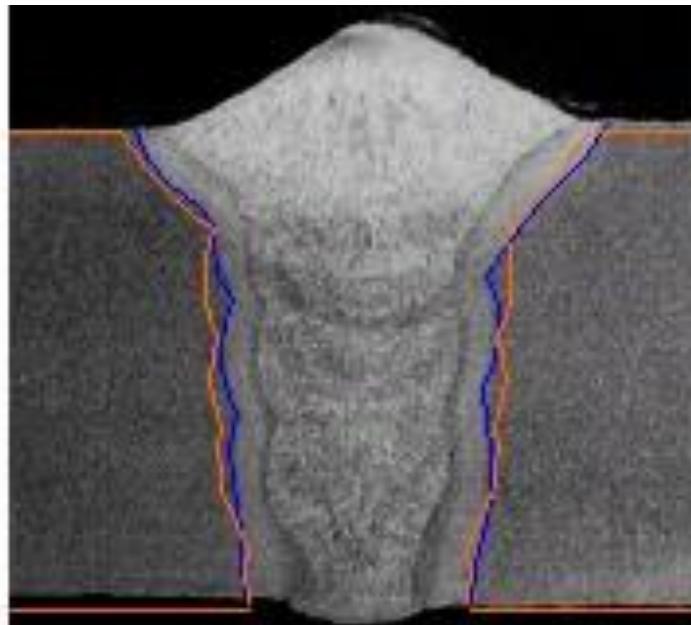


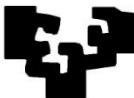


## 4. Aspectos metalúrgicos básicos

### Concepto de Zona Afectada por el Calor (HAZ)

- **HAZ (Heat Affected Zone):** porción de material base que no ha fundido durante la soldadura pero cuyas propiedades mecánicas o su microestructura han sido alteradas por el calor





## 4. Aspectos metalúrgicos básicos

### Concepto de Dilución en soldaduras por fusión

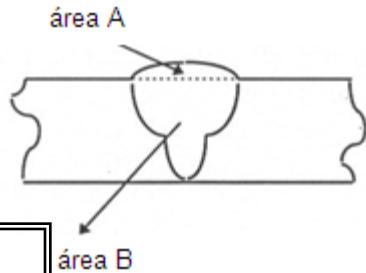
- Dilución: porcentaje de la unión soldada que corresponde al metal base

#### Dilución en soldaduras a tope

Antes:



Después:



$$D(\%) = \frac{B}{A + B} 100$$

Valores orientativos de la dilución que puede alcanzarse en distintos casos

#### Dilución en soldaduras con preparación de bordes

Antes:

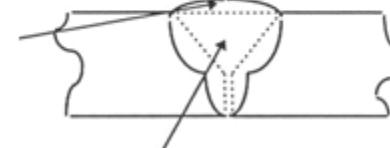


Después:



área total de la unión, Z

área de refuerzo, Y



área entre componentes a unir, X

Espesor (mm)	Preparación bordes	Dilución (%)
3	A tope	65-100
10	A tope, pasada única	85-90
10	A tope, 2 pasadas	75-80
10	En V, pasada única	55-60
cualquiera	Cordón ortogonal	30-40

$$D(\%) = \frac{Z - (X + Y)}{Z} 100$$

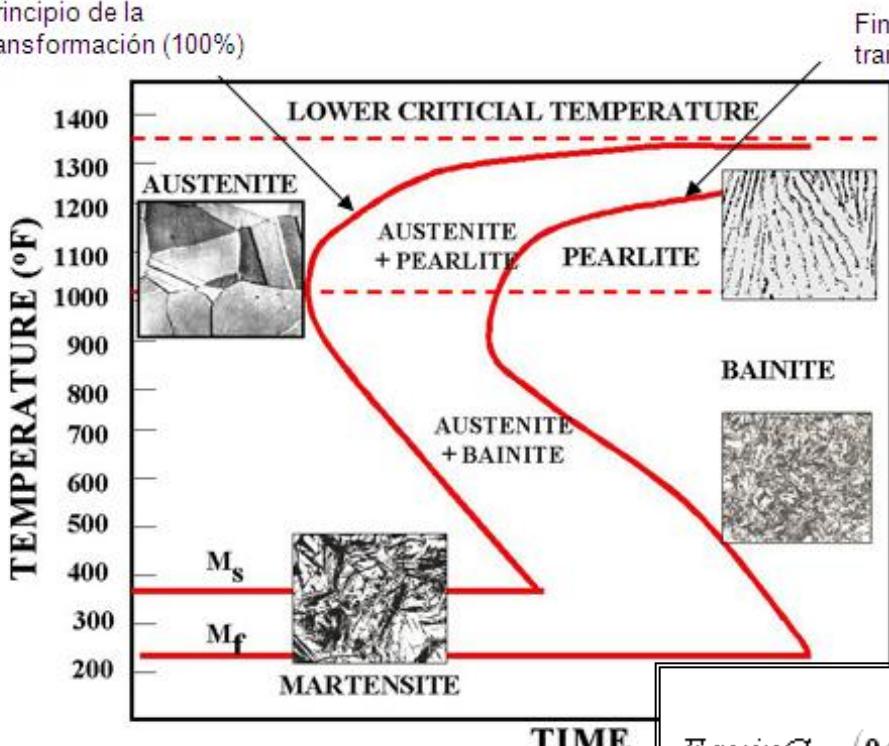


## 4. Aspectos metalúrgicos básicos

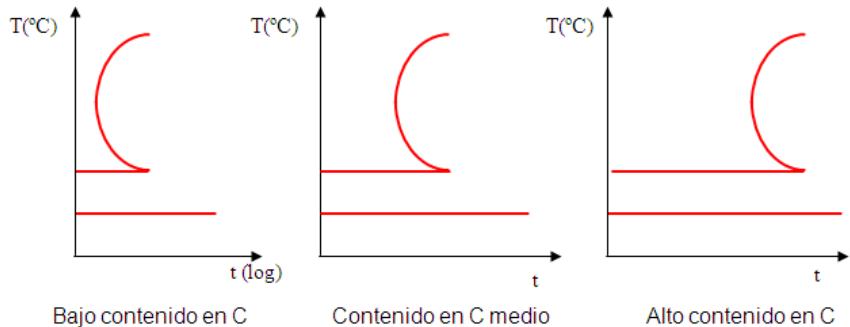
### Soldabilidad de Aceros al Carbono

- **Curva de la S (transformaciones isotérmicas)**
- La estructura metalúrgica final de la soldadura dependerá de:
  - La velocidad de enfriamiento
  - El contenido en Carbono y en elementos de aleación del acero

Principio de la transformación (100%)



Final de la transformación (0%)



El mayor contenido en Carbono y en elementos de aleación desplaza la curva hacia la derecha.

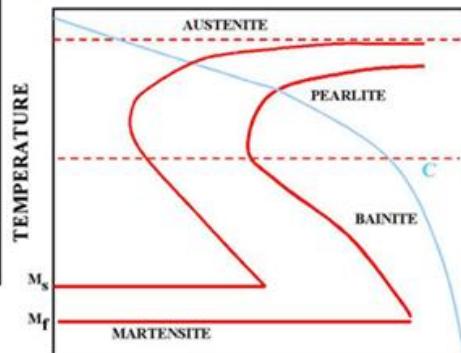
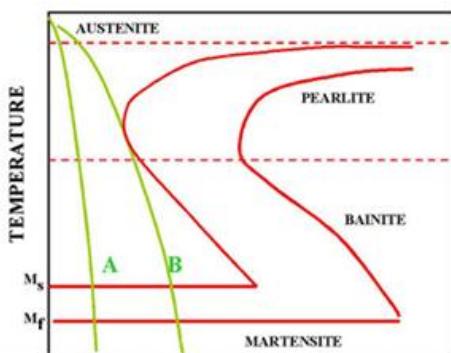
Concepto de Carbono Equivalente

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

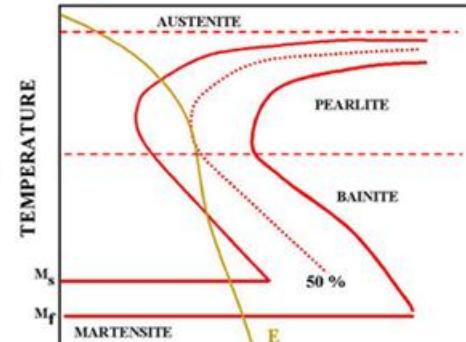
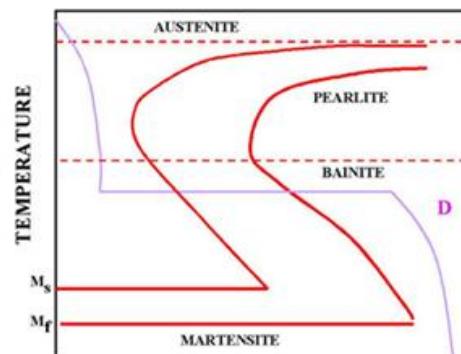


### Soldabilidad de Aceros al Carbono

- Por superposición de la curva de enfriamiento sobre la curva de la S puede obtenerse la estructura metalúrgica final de la soldadura



La aparición de fases duras y frágiles (martensita) junto con la presencia de H<sub>2</sub> atrapado en la soldadura puede dar lugar al agrietamiento de la misma



Curvas de enfriamiento A y B: Martensita

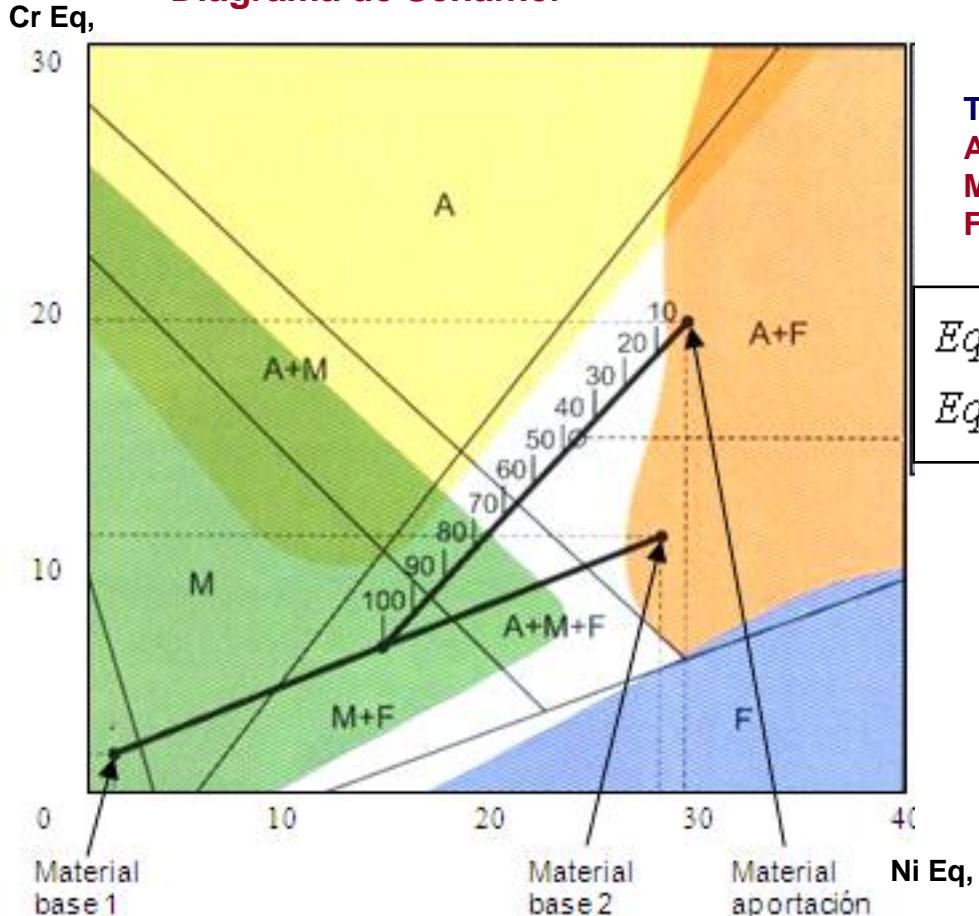
Curva de enfriamiento C: Perlita

Curva de enfriamiento D: Bainita

Curva de enfriamiento E: 50% Perlita y 50% Martensita

### Soldabilidad de Aceros Inoxidables

- Diagrama de Schaffler



#### Tipos de Inoxidables

A: Austeníticos

M: Martensíticos

F: Ferríticos

$$EquivCr = (\%Cr) + (\%Mo) + 1.5(\%Si) + 0.5(\%Nb)$$

$$EquivNi = (\%Ni) + 30(\%C) + 0.5(\%Mn)$$

El diagrama de Schaeffler permite determinar la composición óptima del material de aportación para entrar en la zona de buena soldabilidad



### Soldabilidad de Aceros Inoxidables: Otras consideraciones

- En general, baja soldabilidad
- Martensíticos:
  - Siempre aparece esta fase (susceptible al agrietamiento)
  - Requiere precalentamiento y tratamiento térmico posterior
  - No se sueldan por encima del 2,5% de Carbono
- Austeníticos:
  - Elevado coeficiente de expansión térmica: distorsiones y tensiones residuales
  - Pérdida de ductilidad a altas temperaturas: agrietamiento
- Ferríticos:
  - Soldabilidad muy pobre debido al crecimiento de grano, baja ductilidad
- Pérdida de la resistencia a la corrosión
  - Se produce cuando el contenido en Cr cae por debajo del 12%
  - Rango de temperaturas crítico para cada inoxidable: el Cr se combina con el Carbono
  - Especialmente problemático en martensíticos
  - Diferentes soluciones: aceros extrabajos en Carbono; aceros de alto contenido en Cr; tratamientos térmicos posteriores; etc...

## 5. Cuestionario tutorizado



1. **Explica el concepto de dilución en soldadura por fusión. Si se tienen dos parejas de chapas de acero de 10mm, unas soldadas a tope y otras con cordón ortogonal, ¿cuál dará lugar a diluciones mayores? ¿Por qué?**
2. **Entre dos aceros al carbono, uno con un % C de 0,3% y otro con un 1,1%. ¿Cuál de los dos tiene una soldabilidad más reducida? ¿Por qué?**
3. **Tras la realización de una operación de soldadura se produce una zona afectada por el calor. ¿A qué se debe? ¿Cómo se te ocurre que podría definirse su frontera?**
4. **¿Cómo realizarías la preparación de bordes para una soldadura?**
5. **¿Qué motivos pueden justificar el realizar una operación de soldadura con preparación de bordes, a pesar del incremento en su coste?**
6. **¿Qué información proporciona el diagrama de Schaffler? ¿Cuál es su utilidad en operaciones de soldadura?**
7. **Una velocidad de enfriamiento excesivamente alta está asociada a problemas en la soldadura. Justifica esta afirmación.**

## 5. Oportunidades laborales: empresas y productos



### Egondo S.L.

Montaje y soldadura de estructuras para prensas, bastidores tubulares y de chapón en calderería pesada

Localización: Bilbao (Bizkaia)

[www.egondo.com](http://www.egondo.com)



### Solmesa S.L.

Soldadura automática por arco sumergido, eléctrica, etc.

Localización: Eibar (Gipuzkoa)

[www.solmesa.epime.com](http://www.solmesa.epime.com)

### Laser Norte S.A.

Sector de transformados

Localización: Lemoa (Bizkaia)

[www.lasernorte.com](http://www.lasernorte.com)

### Precal S.A.

Productos de calderería en general

Localización: Galdakao (Bizkaia)

[www.iprecalsa.com](http://www.iprecalsa.com)

**EGONDO, soldadura en elemento estructural para maquina-herramienta pesada**

### Kodox

Soldadura y corte

Localización: Eibar (Gipuzkoa)

[www.lkodox.com](http://www.lkodox.com)

### Solnor

Aleaciones, maquinaria y procedimientos para la soldadura de mantenimiento y producción

Localización: Vitoria-Gazteiz (Alava)

[www./solnor.sl.com](http://www./solnor.sl.com)