AseTUB

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE TUBOS Y ACCESORIOS PLÁSTICOS

Informe Técnico

Soldadura térmica en tuberías de polietileno (PE)

INDICE

Pág.

1. Introducción 3

2. Electrofusión 4
   2.1 Estructura de los accesorios electrosoldables..... 5
   2.2 Aspectos relevantes de la electrofusión 5
   2.3 Procedimiento de unión con manguito electrosoldable 9
   2.4 Ventajas de la electrofusión 10
   2.5 Causas de fallo en la electrofusión 10

3. Soldadura a tope..... 11
   3.1 Influencia de los parámetros en el proceso de soldadura a tope 13
   3.2 Fundamento de la soldadura a tope 14
   3.3 Parámetros de soldadura 14
   3.4 Procedimiento de unión por soldadura a tope 15
   3.5 Sistemas de soldadura a tope 18

4. Control de la calidad de las soldaduras a tope..... 20
   4.1 Factores que influyen en la calidad de la soldadura 20
   4.2 Control de la calidad de soldadura 21
      4.2.1 Métodos no destructivos 21
      4.2.2 Ensayos destructivos a corto plazo 22
      4.2.3 Ensayos destructivos a largo plazo 24
   4.3 Ensayos de resistencia a la tracción y a la curvatura. Caso práctico 25

5. Soldadura de grandes diámetros de tubos de PE 29
   5.1 Introducción 29
   5.2 Consideraciones especiales 29

6. Trazabilidad 31

7. Calibración periódica y control del buen estado de las máquinas 33

8. Conclusiones 34

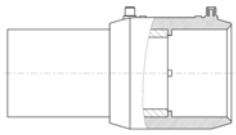
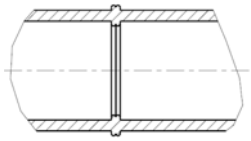
9. Normas de soldadura tubos PE y otros documentos de referencia 36

10. Bibliografía 39

NOTA:
El objeto de este Informe Técnico es recoger el estado del arte de las prácticas para la soldadura térmica de tubos de PE. Debido a la finalidad meramente divulgativa, AseTUB no adquiere responsabilidad alguna sobre la instalación o aplicación de los distintos métodos de unión que deberán adaptarse a las condiciones específicas de cada caso.

1. Introducción

Los tubos de Polietileno (PE) pueden unirse por soldadura térmica. Los sistemas de unión soldada más comúnmente utilizados son:

Electrofusión: Al hacer pasar corriente eléctrica a baja tensión (entre 8 y 48 V según modelo) por las espiras metálicas de los accesorios electrosoldables, se origina un calentamiento (efecto Joule) que suelda el tubo con el accesorio. La gama va desde DN 20 a 800 mm.	
Soldadura a tope: Esta técnica se emplea preferentemente a partir de 90 mm de diámetro y espesores de pared superiores a 3 mm. Consiste en calentar los extremos de los tubos a unir con una placa calefactora que esté a una temperatura de 210-225 ºC y a continuación comunicar una determinada presión previamente tabulada. Se utiliza la soldadura a tope en tubos de PE con DN 90 a 1600 mm.	

Desde hace más de 40 años se están utilizando técnicas de unión por soldadura, aprovechando las características termoplásticas del PE, tanto para las conducciones de agua como de gas.

Dos tipos de técnicas de soldar se están utilizando principalmente: Soldadura a tope y Electrofusión. Ambas técnicas son relativamente simples de realizar en el campo, pero se requiere que se preparen correctamente las superficies a ser soldadas y se utilicen estrictamente los parámetros de soldar.

Si no se cumplen los procedimientos de soldadura, puede ocurrir que uniones aparentemente buenas, sean en realidad puntos débiles que pueden generar fracasos cuando la tubería esté en funcionamiento. Por consiguiente una ventaja del PE, su fácil soldabilidad, puede convertirse en un problema si los procedimientos de soldadura se infravaloran.

Hoy día el factor de evaluación no destructiva más importante de una unión soldada de tuberías de PE, es el control y registro de las condiciones y parámetros de soldadura (llamado trazabilidad) y el examen visual de la misma, el bordón en el caso de soldadura a tope y el raspado y testigos en la electrofusión.

Hasta ahora, no ha sido posible establecer un ensayo no destructivo capaz de darnos una correlación del comportamiento a largo plazo de las uniones soldadas. La garantía de una buena soldadura tenemos que buscarla en el control de los parámetros de soldadura.

Las tuberías de PE no se deben pegar ni roscar para unirlas. Es preferible que los sistemas de unión sean resistentes a la tracción. Las tuberías de PE 40 de baja densidad no se deben soldar.

2. Electrofusión

Los accesorios electrosoldables se utilizan para unir tubos o tubos y accesorios polivalentes o manipulados de PE media y alta densidad, PE 80 y PE 100. Estos accesorios se pueden utilizar en tubos de SDR 17,6 para diámetros mayores de DN 90 y en tubos de SDR 11 para todos los diámetros.

Resisten una presión nominal de 16 bar en conducciones de agua y de 10 bar en conducciones de gas. En el mercado también se pueden encontrar accesorios electrosoldables PN 25. Suelen ser de color negro y se sueldan con una tensión de entre 8 y 42 voltios según el modelo, aunque la tensión más común y actualmente más usada por los fabricantes es de 40 voltios. La introducción de los datos de soldadura (voltaje y tiempo de fusión) en la máquina de electrofusión, puede realizarse con equipos manuales o con equipos que registran los datos del accesorio leyendo su código de barras a través de lápiz óptico o escáner.

Los accesorios electrosoldables se suministran con etiquetas o tarjetas magnéticas en las que aparecen códigos de barras donde aparece toda la información relevante del producto así como los datos de fusión. Con todo ello podemos realizar la trazabilidad del producto conociendo la materia prima empleada, localización de la planta de producción, inyectora, etc…

La utilización de la electrofusión para unir tuberías o válvulas de PE permite una instalación de canalización enterrada homogénea del mismo material, segura, económica y eficaz.

Figura 2.1.- Soldadura con accesorios electrosoldables

El área de soldadura entre el tubo y el accesorio es muy amplia, por lo que la unión puede resistir tanto fuerzas de tracción como presiones internas, mayores que las que puede soportar el propio tubo.

Las aplicaciones más comunes hasta ahora han sido en conducciones de gas, agua y de procesos industriales o químicos. Existen numerosas ventajas respecto a los métodos tradicionales de unión.

Durante el proceso de electrofusión no se requiere movimiento longitudinal del tubo, por lo que es ideal para efectuar instalaciones difíciles, reparaciones y cualquier otro tipo de operaciones posteriores a la instalación como la realización de acometidas sin quitar la presión de la red mediante las tomas en carga.

2.1 Estructura de los accesorios electrosoldables (EF)

Los accesorios electrosoldables se componen de las siguientes partes:

1) Espira calefactora.
2) Bornes para acoplar los conectores de las máquinas de soldadura.
3) Testigos de soldadura que indican que se ha completado la fusión.
4) Tope interior central para facilitar la introducción del accesorio hasta la profundidad correcta. Este tope se puede eliminar fácilmente para permitir el desplazamiento del accesorio sobre el tubo, por ejemplo, en reparaciones.

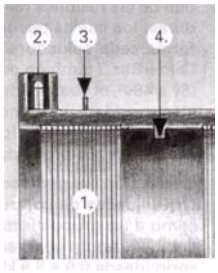


Fig. 2.2 Partes accesorios EF

2.2 Aspectos relevantes de la Electrofusión

La electrosoldadura entre tuberías y accesorios es un sistema de unión seguro, económico y eficiente. Sin embargo no se debe pasar por alto una preparación cuidadosa de las superficies de soldadura como requisito previo indispensable. Las zonas de soldadura deben estar protegidas contra la humedad con tiempo desfavorable (lluvia, nieve etc.…).

Fig.2.3 Máquinas de Electrofusión

Además de las máquinas y los alineadores, el proceso de electrofusión necesita útiles para cortar, raspar y limpiar las superficies.

¡MUY IMPORTANTE!: Hay que **raspar** la zona del tubo a soldar para quitar la película de oxidación originada por el oxígeno del aire, según las instrucciones que se indican después, en caso contrario no se producirá una soldadura correcta y la unión no será estanca ni resistente a la presión interior.

Los accesorios electrosoldables se suministran individualmente empaquetados en bolsas de plástico, de las que no deben ser extraídos durante la operación de preparación de la soldadura, para mantenerlos limpios. En caso de que el interior del accesorio se ensucie, se limpiará con papel limpio y ligeramente humedecido en isopropanol (alcohol). No debemos usar otros productos de limpieza como disolventes, jabones, detergentes, etc., ya que obtendríamos una fusión defectuosa, ni tampoco limpiar con medios mecánicos, para no dañar la resistencia interior.

Para efectuar la soldadura, las superficies se deben mantener secas. En el caso de que alguna válvula no cierre bien y siga pasando agua, aunque sea poca, se deberá hacer un balonamiento (insertar un balón en el interior de la tubería a través de un collarín de toma) para que no pase absolutamente nada de agua durante la soldadura.

Recuerde comprobar que los tubos y accesorios que se van a soldar sean de resinas compatibles para la electrofusión, esto significa que los tubos a soldar deben ser de PE 80 o PE 100, pero nunca de polietileno de baja densidad PE 40.

Importante es también que el corte de la tubería sea recto para evitar errores posteriores. Para ello emplearemos cortatubos idóneos o en su defecto una sierra. En ningún caso utilizaremos motosierras, ya que éstas tienen aceite que pude contaminar la soldadura.

Aspectos a tener en cuenta para la correcta ejecución de la unión por electrofusión:

a) Preparación y raspado

En primer lugar, se ha de limpiar la superficie del tubo utilizando un papel limpio y seco, de forma que se trabaje en superficies exentas de suciedad, reduciendo el riesgo de contaminación del área de la unión y del tiempo de raspado. Si no se consigue limpiar totalmente el tubo utilizando un trapo seco, se puede utilizar agua, pero solamente antes de efectuar el raspado de la tubería. Se recomienda efectuar esta operación utilizando trapos o toallas de papel que no dejen residuos. Algunos trapos confeccionados a partir de fibras naturales pueden contener lanolina, lo cual puede afectar a la calidad de la soldadura.

En los tubos de PE se produce una pequeña oxidación en la capa superficial del mismo y que es preciso eliminar para realizar una buena soldadura. La mejor manera de efectuarlo es utilizar un raspador mecánico. Este tipo de herramienta elimina una capa uniforme de material, controlando la superficie de penetración.

Fig. 2.4 Raspadores mecánicos

Los raspadores manuales también pueden ser un método efectivo para eliminar esta capa superficial, pero el resultado depende totalmente de la técnica del operador, por lo que se deben tomar algunas precauciones. Un método recomendado es utilizar un rotulador para señalar la zona que debe ser raspada en toda la superficie del tubo, por ejemplo, en tubos de color negro utilizar un rotulador de color blanco y hacer unas líneas en la superficie a raspar. Cuando hayamos eliminado estas líneas podemos deducir que hemos raspado la superficie prevista. El raspado se realiza siempre hacia el extremo del tubo.
La dureza de la superficie del PE 100 frente a la del PE 80 desaconseja el uso de raspadores manuales, siendo preferidos los raspadores mecánicos.

Si existe demasiada holgura entre el accesorio y el tubo, debido a que se haya raspado demasiado y eliminado una excesiva cantidad de material, al realizar la soldadura se puede producir una fluencia del PE fundido hacia el exterior del accesorio.

La lija o papeles abrasivos no se deben utilizar para preparar la superficie de la soldadura. Este tipo de abrasivos no sólo no elimina material, sino que estropean la superficie del tubo, además de dejar partículas en la superficie a soldar.

La zona del tubo a soldar se ha de limpiar con un papel celulósico limpio y seco antes de ser raspado. Después de efectuar el raspado no se debe tocar la superficie del tubo. *No hay nada que pueda limpiar aún más esta superficie después de ser raspada.*

No se deben utilizar trapos empapados en alcohol después de haber raspado, ya que pueden añadir contaminación y si no ha transcurrido el tiempo necesario para que se evapore el alcohol pueden generarse materias volátiles durante el proceso de soldadura. La zona preparada se debe mantener seca, si existe humedad en la zona de fusión, se pueden producir burbujas durante el proceso de soldadura. Solamente se utilizará limpieza con papel e isopropanol si hay viento y ensucia la zona raspada o el accesorio ha estado fuera de su bolsa y por tanto se ha ensuciado.

b) Manejo de los accesorios

La limpieza es fundamental para realizar una soldadura fiable y de alta calidad. Los accesorios EF se fabrican en un entorno que asegura que el producto llegue hasta el cliente convenientemente protegido y limpio. Todos aquellos factores o materiales que afectan a la calidad del producto, están estrictamente controlados durante la fabricación y el accesorio es convenientemente empaquetado antes de salir de fábrica.

La mejor manera de mantener las condiciones de limpieza es mantener el accesorio en su embalaje original hasta el final, es decir, sacar el accesorio de su bolsa solamente cuando se haya completado la preparación del tubo y se vaya a hacer la soldadura en ese momento.

Fig. 2.5 Limpiar, marcar y raspar

c) Tolerancia de las embocaduras de los accesorios EF

Los accesorios están diseñados para permitir unas tolerancias de trabajo adecuadas a la práctica de las instalaciones. Las zonas muertas (sin resistencia eléctrica) del centro y de los extremos, proporcionan una seguridad extra y uniones fiables.

Un aumento de la longitud de las embocaduras, aumenta la estabilidad y ayuda al alineamiento del tubo durante el proceso de fusión en condiciones difíciles.

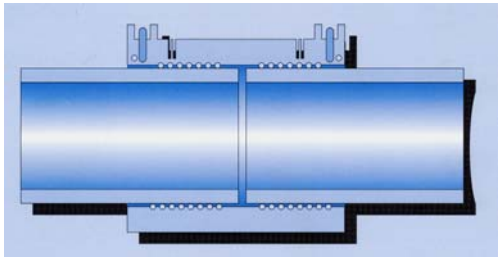


Fig.2.6 Sección de una soldadura EF

d) Tiempo de fusión

El tiempo de fusión está indicado en cada accesorio, expresado en segundos, y es aplicable cuando se trabaja a temperaturas entre –5ºC y +45ºC. En el caso de estar trabajando con máquina manual y debido a que la temperatura de los tubos y accesorios que se van a soldar influye en el tiempo de soldadura, es necesario ajustar el tiempo de fusión de acuerdo con las tablas suministradas por el fabricante del accesorio.

Cuando se trabaja con máquina automática y con el modo código de barras, el tiempo de fusión siempre es seleccionado de forma automática por la máquina, de acuerdo a la temperatura ambiente medida por la propia unidad.

e) Unión por electrofusión

Durante el proceso de fusión, hay que evitar cualquier tipo de tensión que pueda originar movimientos en la unión. Esto se consigue utilizando alineadores. Si por alguna causa no se puede utilizar este tipo de herramienta, la unión se debe asegurar mediante cualquier otro medio.

Fig. 2.7 Alineadores

f) Fusión y control de las soldaduras

Comprobar que la fusión se ha completado de forma correcta, según lo indicado a continuación:

- Observar que la máquina electrosoldable ha completado el ciclo.
- Colocar la mano sobre el accesorio para comprobar que se ha calentado.
- Comprobar que han salido los testigos de soldadura.

Si se ha interrumpido el ciclo de fusión por alguna causa, por ejemplo un corte de corriente eléctrica, la unión puede ser recalentada una vez más, pero debe haberse dejado enfriar completamente antes de iniciar el recalentamiento y después debe completarse totalmente el ciclo de fusión.

g) Finalización del trabajo

El tiempo de enfriamiento de los accesorios electrosoldables está indicado en los accesorios y es el tiempo mínimo que se requiere antes de manipular la unión. No se debe retirar el alineador antes de este tiempo, ni tampoco se debe efectuar ningún otro tipo de trabajo, como perforar la tubería en el caso de las tomas en carga.

Es recomendable indicar sobre el accesorio, con un rotulador, la hora final del tiempo de enfriamiento, la fecha de realización de la soldadura y el número de carné de instalador AseTUB (si dispone de él).

Fig. 2.8 Marcado tiempo de enfriamiento

h) Interrupción por fallo eléctrico

Si se ha producido un fallo eléctrico por causas externas,(p.ej. fallo en el generador) y la soldadura se ha interrumpido, se puede volver a fundir teniendo en cuenta estos puntos:

- Comprobar y corregir las causas del fallo.
- No soltar los alineadores.
- Enfriar el accesorio completamente (mínimo 1 h) hasta temperatura ambiente. No utilizar ningún elemento adicional para enfriar (agua fría, aire, etc.).
- Proteger la unión de la suciedad y de la humedad durante la fase de enfriamiento.
- Realizar la soldadura de nuevo de acuerdo con las instrucciones de montaje y las especificaciones del fabricante.
- No se recomienda volver a re-soldar las tomas en carga.

Si la soldadura falla en la prueba de presión, no se debe realizar la re-soldadura en el mismo punto.

2.3 Procedimiento de unión con manguitos Electrosoldables

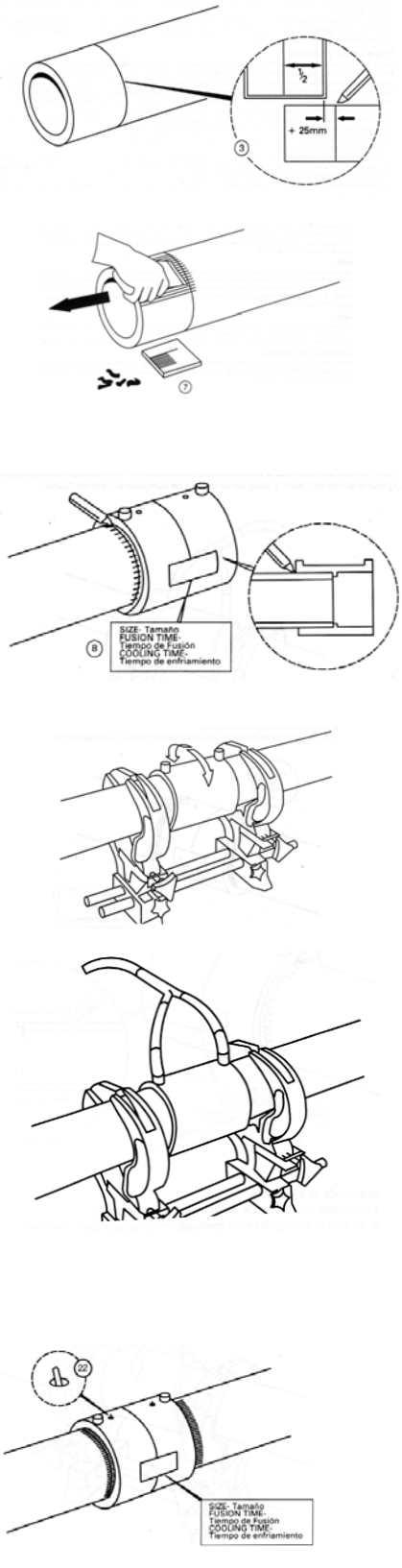


Fig. 2.9 Proceso de soldadura EF con manguitos

1. Cortar perpendicularmente los extremos de los tubos que se van a unir.
2. Limpiar la suciedad de los extremos de los tubos, aproximadamente 500 mm, utilizando un papel limpio.
3. Utilizar el accesorio, sin sacarlo de la bolsa, para marcar la longitud mínima de tubo que debe ser raspada en cada uno de los extremos, (mitad de la longitud del manguito más unos 25 mm).

4. Utilizar un raspador para eliminar la capa superficial marcada alrededor de los extremos de los tubos a unir. No utilizar lija o tela esmeril para limpiar o raspar hacia el extremo del tubo.
5. Asegurarse de que se ha raspado toda la zona superficial marcada.
6. No tocar con las manos las zonas raspadas.
7. Utilizar un espejo, si es necesario, para comprobar que se ha raspado toda la superficie de la parte inferior del tubo.

8. Sacar el manguito de la bolsa y leer la etiqueta para asegurarse de que se ha elegido la medida correcta.
9. Colocar el manguito en uno de los extremos del tubo. Marcar la profundidad de penetración cuando la marca central del manguito coincida con el extremo del tubo.
10. Sacar el manguito e introducirlo en el extremo del otro tubo. Marcar la profundidad de penetración cuando la marca central del manguito coincida con el extremo del tubo.

11. Colocar y apretar ligeramente el alineador.
12. Colocar los extremos de los tubos en el interior del manguito.
13. Asegurarse de que el manguito está centrado en el alineador y que los tubos se han introducido hasta la marca de profundidad de penetración. Apretar totalmente el alineador.
14. Girar el manguito con suavidad para comprobar que los tubos no estén desalineados.

15. ATENCIÓN: Si la corriente eléctrica procede de un grupo electrógeno, asegurarse que la tensión de salida está estabilizada a 220 ± 1% V. y la frecuencia sea de 50 Hz, ya que en caso contrario se averiará la máquina. Es necesario calibrar los grupos periódicamente. También hay que comprobar que haya suficiente combustible en el generador para asegurar el periodo de fusión.
16. Quitar los tapones que protegen los terminales del manguito.
17. Conectar los cables a los terminales del manguito.
18. Ver el tiempo de fusión indicado en el accesorio e introducirlo en la máquina de soldar Electrosoldables. En máquinas automáticas, pasar el lápiz óptico o la tarjeta.
19. Pulsar el botón "start" y asegurarse de que se completa el ciclo de fusión.

20. Sin mover el manguito, dejarlo enfriar en el alineador el tiempo indicado en la etiqueta.
21. Quitar los cables y desmontar el alineador.
22. Inspeccionar visualmente la unión y comprobar que han salido los testigos de fusión.

NOTA:
Los tiempos de fusión y enfriamiento de los accesorios, suelen ser para rangos de temperatura ambiente de trabajo de entre 15ºC y 25ºC. Para otras temperaturas de trabajo, se deben consultar las tablas de corrección de tiempo que facilita el fabricante del accesorio.

2.4 Ventajas de la electrofusión

- Seguridad, uniones fiables y duraderas.
- Ideal para soldar tubos de diámetro pequeño.
- Se mantiene la misma capacidad de transporte de caudal que la del tubo original.
- Es ideal para realizar soldaduras en condiciones difíciles.
- El mejor sistema para realizar una reparación.
- No se requiere movimiento de los tubos durante la soldadura.
- Corto tiempo de instalación y fácil de realizar.
- Las máquinas automáticas de electrofusión minimizan los fallos y errores que se puedan producir, además de darnos una trazabilidad total de la unión.
- Aplicable a las uniones entre tubos de media y alta densidad de PE 80 y PE 100.
- Los accesorios EF para instalaciones de gas y agua están certificados en muchos países.
- Es posible unir tubos de PE 80 con PE 100 y de distintos espesores de pared utilizando accesorios EF.

CORRECTO

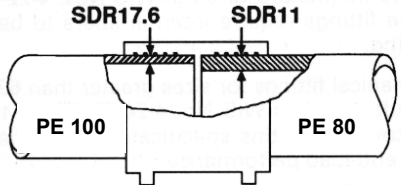


Fig. 2.10 Sección soldaduras

2.5 Causas de fallo en la Electrofusión

- Por no raspar el tubo
- Tensión del grupo electrógeno incorrecta.
- Excesivo espacio entre el tubo y el accesorio.
- Movimiento durante la fusión.
- Tubo excesivamente ovalado y no haber utilizado redondeador.
- Introducción incorrecta del voltaje del accesorio en la máquina.
- Contaminación o suciedad de los tubos y/o accesorios.
- Preparación insuficiente (mirar con un espejo la parte inferior del tubo).
- Por raspar demasiado el tubo.
- Incorrecta introducción del tiempo en la máquina.
- Interrupción del ciclo de fusión.
- Haber realizado un corte inadecuado de la tubería.
- No haber utilizado alineadores.
- No esperar a cumplir el tiempo de enfriamiento.

PRECAUCIÓN:
Durante el proceso de soldadura hay que situarse como mínimo a 1 m de distancia de la soldadura, ya que si el sistema no funciona correctamente podría salpicar PE fundido.

Fig. 2.11 Algunas obras realizadas con accesorios electrosoldables

3. Soldadura a tope

Como ya hemos dicho, esta técnica se emplea preferentemente a partir de 90 mm de diámetro y espesores de pared superiores a 3 mm. Consiste en calentar los extremos de los tubos a unir con una placa calefactora que esté a una temperatura de 210±10ºC y a continuación comunicar una determinada presión previamente tabulada para cada máquina de soldar.

Las máquinas de soldar a tope tienden a ser cada día más automáticas, aunque sigue siendo muy importantes las habilidades y formación de los operarios.

Las máquinas de soldar a tope automáticas facilitan el proceso de soldadura y también nos pueden dar un informe de las soldaduras realizadas con objeto de tener la trazabilidad de las mismas.

Existen máquinas de soldar a tope para trabajar en obra y otro tipo de máquina que se utiliza en el taller y que nos permite hacer accesorios manipulados (codos, tés, etc.) y pueden soldar tubos de PE desde diámetro 90 hasta 1600 mm.

Fig. 3.1 Máquina de soldar a tope de obra

Fig. 3.2 Máquina de soldar a tope de taller para fabricar accesorios manipulados

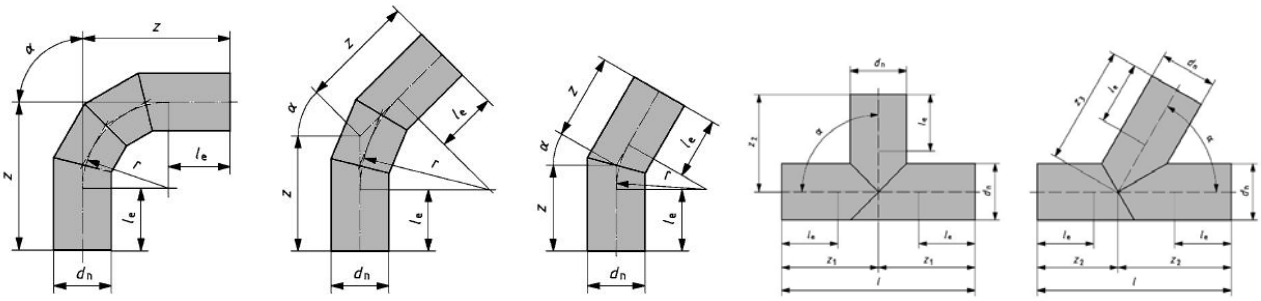


Fig. 3.3 Accesorios manipulados de PE fabricados por soldadura a tope

Aunque en la norma ISO 12176-1 las máquinas están clasificadas según el tipo de presión utilizado o el grado de automatización, a título orientativo indicamos las siguientes.

Tabla 3.1.- Tipos de máquinas de soldar a tope

***Manuales**: Aquellas en las que los parámetros de soldadura los controla el soldador*		
Mecánicas Desde DN 40 a 160 mm		
Hidráulicas Desde DN 90 a 1600 mm		
***Automáticas**: Aquellas máquinas en las que los parámetros de soldadura los controla la máquina y no pueden ser manipulados por el soldador*		
Eléctricas Desde DN 90 a 250 mm		
Hidraúlicas Desde DN 63 a 500 mm		
Auto desplazables Desde DN 250 a 900 mm		

3.1 Influencia de los parámetros en el proceso de soldadura a tope

Diedrich y Gaube realizaron allá por 1970 estudios experimentales variando los parámetros de soldadura a tope, presión y temperatura, comprobando el comportamiento de la soldadura. El efecto del Índice de Fluidez (MFR) del PE fue investigado por Diedrich y Kempe y publicados en 1980 en las normas DVS 2207-1; DVS 2203-1; DVS 2205-1.

En 1980 en Alemania se puso en marcha un extenso programa con el objetivo de perfeccionar los parámetros de la soldadura a tope con placa calefactora utilizada para unir tuberías de polietileno de espesores superiores a 45 mm.

Varias universidades así como las industrias involucradas, (proveedores materias primas, fabricantes de tuberías y de accesorios, fabricantes de máquinas de soldar), trabajaron en los proyectos de investigación, dando lugar a las normas DVS correspondientes.

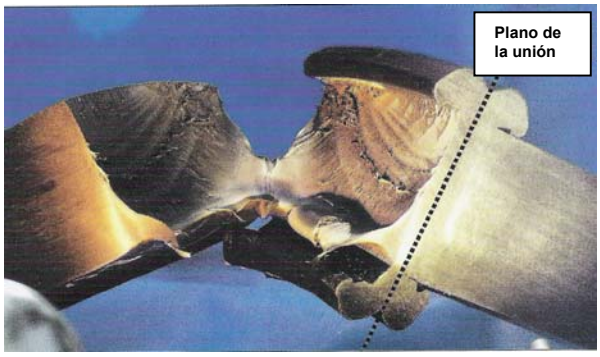


Fig. 1.- La rotura no se produce en el área soldada

Las investigaciones internas de Hoechst AG, Frankfurt, confirmaron que no se producía ningún efecto negativo en el comportamiento a largo plazo de las uniones de PE con placas calefactoras que estaban entre 190 °C y 260 °C de temperatura. La variación de la presión entre 0.15 N/mm² y 0.45 N/mm² también daba buenos resultados. Basándose en estos resultados se estableció una "ventana" para estos dos parámetros de soldadura.

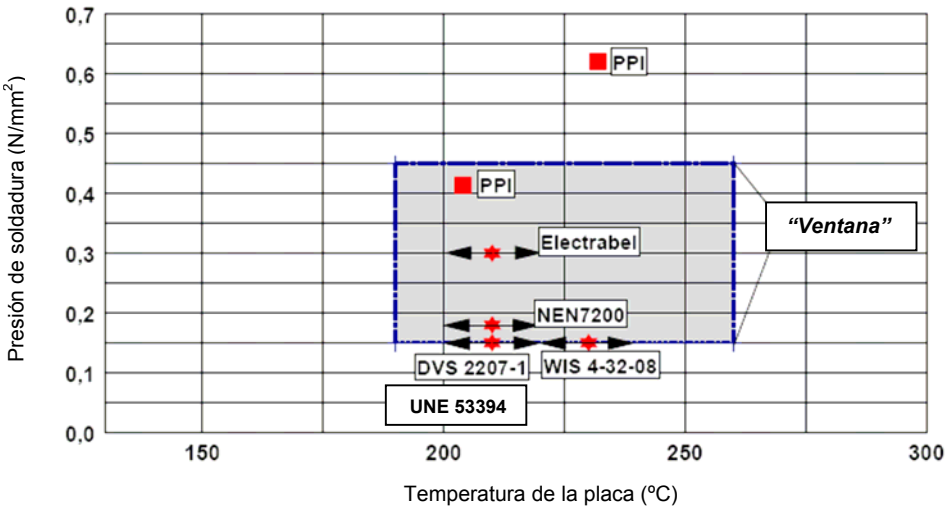


Fig. 3.4 "Ventana" para el buen comportamiento a largo plazo de soldaduras a tope en tuberías de PE

	Norma							
	DVS2207-1	WIS 4-32-08	NEN 7200	Electrabel NBN T 42-010	DS/INF 70-2 INSTA 2072	UNI 10520	PPI-TR33 ASTM D 2657	UNE 53394
País	Alemania	Reino Unido	Holanda	Bélgica	Escandinavia	Italia	USA	España
Temperatura de soldadura (ºC)	200-220	230 ±10	210 ±10	210 ± 10	200-230	210 ±10	204-232	210-225
Presión de soldadura (N/mm^2)	0.15	0.15	0.18	0.3	0.12 – 0.18	0.15	0.41 – 0.62	0.15

Tabla 3.2 Temperatura y presión de soldadura a tope en distintos países.

Las diferentes combinaciones de parámetros de soldadura a tope - excepto PPI-TR33- es cubierto por la ventana que indica el buen comportamiento a largo plazo de las soldaduras.

3.2 Fundamento de la soldadura a tope

La soldadura a tope es un sistema de unión que se aplica preferentemente en tuberías de PE 80 y PE 100 de media y alta densidad de diámetro mayor a 90 mm. Consiste en calentar los extremos de los tubos a unir por medio de una placa calefactora que esté a una temperatura de 210-225ºC y a continuación se comunica una presión previamente tabulada para cada clase de tubo.

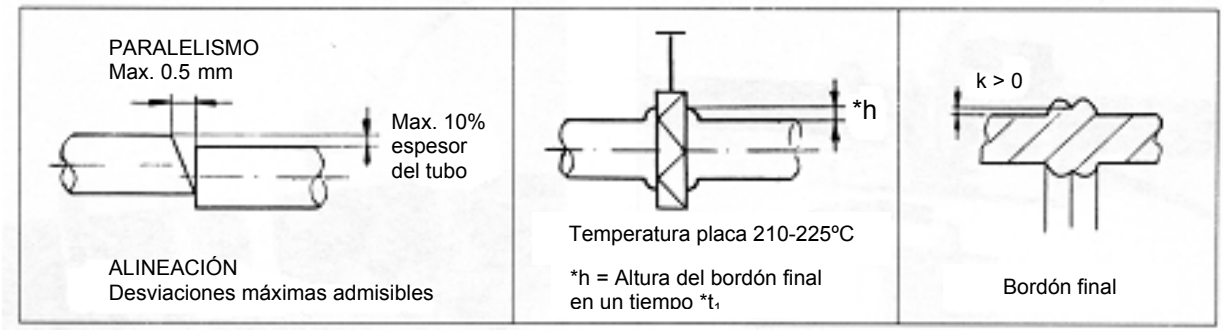
En todos los casos la presión que hay que comunicar a los tubos a unir es una constante de 0.15 N/mm^2. Esta presión es prefijada, así como la constante de la máquina de soldar (originada por la superficie de los pistones hidráulicos), la única variable es la superficie de la sección de los tubos a unir, la cual determina las diferentes presiones de soldadura para cada tubo.

Sistema hidráulico: $F = p \cdot S$
Tubo: $F_1 = p_k \cdot S_1$ } $F = F_1$ $p \cdot S = p_k \cdot S_1$ $p = p_k \cdot S_1 / S$

Siendo:
$F - F_1$ = Fuerza (Kg)
p = Presión del sistema hidráulico (manómetro en bar)
p_k = Constante de presión de soldadura: 0.15 *N/mm^2*
S = Superficie pistones hidráulicos (cm^2)
S_1 = Superficie sección transversal del tubo (cm^2)

Nota: 1 N/mm^2 = 1 MPa = 10 bar

3.3 Parámetros de soldadura



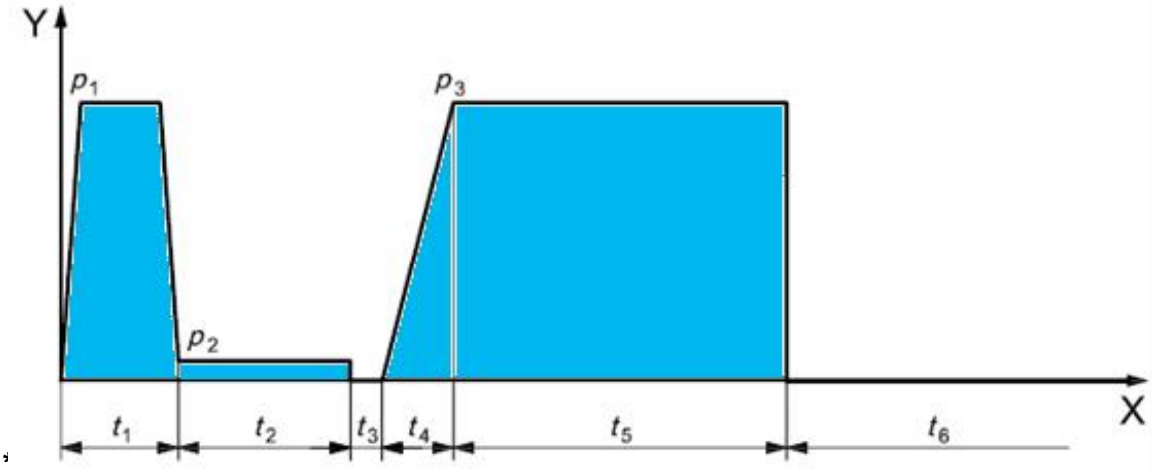


Fig. 3.5 Parámetros de soldadura a tope según UNE 53394 (DVS 2207-1)

Espesor tubo mm	*Altura bordón Inicial *h mm*	*Tiempo de calentamiento t_2 segundos*	*Tiempo para retirar placa t_3 segundos*	*Tiempo para alcanzar la presión t_4 segundos*	*Tiempo de enfriamiento t_5 minutos*
Hasta 4.5	0.5	45	5	5	5
4.5- 7	1.0	45-70	5-6	5-6	6-10
7-12	1.5	70-120	6-8	6-8	10-16
12 -19	2.0	120-190	8-10	8-11	16-24
19-26	2.5	190-260	10-12	11-14	24-32
26-37	3.0	260-370	12-16	14-19	32-45
37-50	3.5	370-500	16-20	19-25	45-60
50-70	4.0	500-700	20-25	25-35	60-80

p_1 = Presión del sistema hidráulico (manómetro en bar). Ver tabla máquina de soldar
p_k = Presión de soldadura prefijada: 0.15 N/mm^2
p_2 = Presión en el tiempo de calentamiento: p_2 = 10% p_1
*t_1 = Tiempo para la formación del cordón inicial de altura *h
t_2 = Tiempo de calentamiento en segundos
t_3 = Tiempo de retirar placa en segundos
t_4 = Tiempo para alcanzar la presión de soldadura en segundos
t_5 = Tiempo de enfriamiento en minutos
t_6 = Tiempo necesario antes de someter el tubo a presión

Los parámetros de soldadura, por orden de importancia en la calidad de las soldaduras, se indican a continuación:

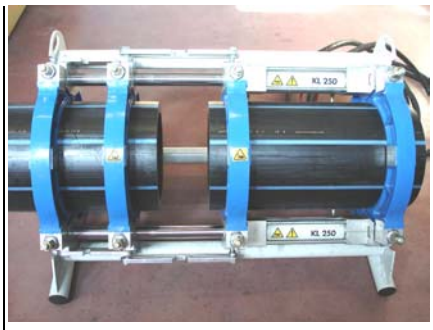
a. **Tiempo de calentamiento (t_2)** ara obtener suficiente zona fundida.
b. **Tiempo enfriamiento (t_5).** Tiempos de enfriamiento demasiado cortos pueden dar roturas frágiles debido a tensiones internas.
c. **Rampa de presión (t_4)** Después del calentamiento, los extremos de los tubos deben ser juntados rápidamente, pero la presión debe ser gradual.
d. **Retirar placa y cerrar (t_3)**
Esta operación debe ser realizada en el menor tiempo posible, menos de 10 segundos es lo recomendado. Es importante que el tiempo sea pequeño para que las superficies fundidas de los tubos no se enfríen.
e. **Presión de fusión (p_1)**
Puede variar en el rango de 0.10-0.22 N/mm^2. Valores más bajos no son aconsejables cuando la fuerza de arrastre (p_2) sea alta. El valor de p_1 es el que viene en la tabla de la máquina más la presión de arrastre. El valor de p_2 suele ser un 10% de p_1.
f. **Temperatura (T)**
Puede variar entre 200–230ºC sin diferencia significativa en la resistencia de la soldadura. No es posible mejorar la resistencia de la unión subiendo la temperatura de la placa.

La conclusión es que pequeñas variaciones de la temperatura de la placa y de la presión tienen muy poca influencia en la calidad de las uniones soldadas.

3.4 Procedimiento de unión por soldadura a tope

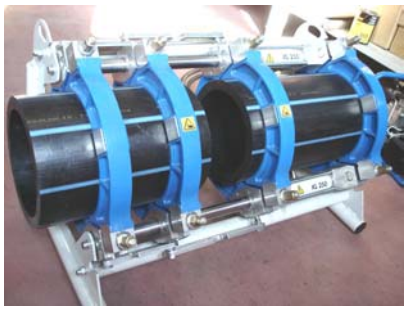
Seguidamente se especifican los pasos a seguir par a una correcta soldadura a tope

Equipo de soldar a tope



1. Colocar el tubo en la máquina

2. Refrentar

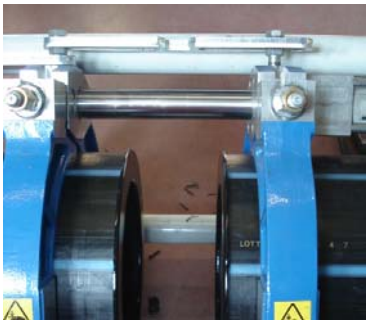


3. Eliminar virutas sin tocar con las manos la superficie refrentada

4. Comprobar alineación tubos

5. Colocar placa

6. Calentar hasta la formación del bordón

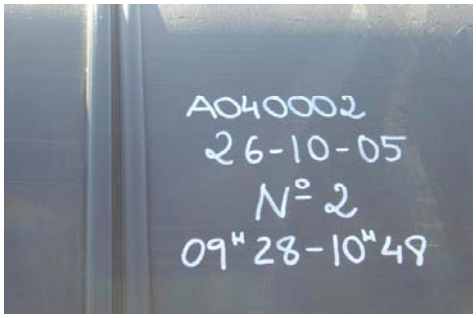


7. Abrir, quitar placa, cerrar y dar rampa de presión

8. Dar presión de soldadura y mantener tiempo de enfriamiento

Fig. 3.6 Proceso soldadura a tope

1. Emplazar la máquina. En caso necesario, por lluvia, frío o viento, montar una tienda o similar
3. Colocar y alinear en la máquina los tubos o accesorios de PE
4. Refrentar los tubos hasta que se limpie totalmente la superficie transversal de los tubos
5. Retirar el refrentador
6. Retirar la viruta sin tocar las superficies a unir
7. Controlar el paralelismo, confrontando los extremos de los tubos a soldar (tolerancia máx. 0,5 mm)
8. Controlar desalineación (tolerancia máxima 10% del espesor del tubo)
9. Limpiar las caras de la placa de soldar con isopropanol (alcohol). Las placas deben estar teflonadas
10. Comprobar con un termómetro de contacto que la temperatura de la placa esté entre 210-225ºC
11. Comprobar la presión de arrastre y anotar en la ficha de soldadura
12. Calcular p_1, la presión para la formación del bordón inicial (presión de soldadura tabulada + presión de arrastre) y anotar en la ficha
13. Poner la placa entre los tubos a soldar
14. Presionar los extremos de los tubos a la placa, a la presión calculada p1, hasta formar un bordóninicial uniforme y de altura h
15. Reducir la presión a p_2 = 10% p_1, para el calentamiento
16. Pasado el tiempo de calentamiento t_2 (tabulado en cada máquina), separar los tubos de la placa
17. Retirar la placa y unir rápidamente los extremos de los tubos en un tiempo máximo t_3
18. Aumentar progresivamente la presión, (rampa de presión) desde cero a la presión requerida p_1, en un tiempo t_4 y mantenerla durante un tiempo t_5
19. Dejar enfriar la soldadura en esta posición sin quitar la presión p_1 ni aflojar las abrazaderas.
20. Pasado el tiempo de enfriamiento aflojar las abrazaderas y retirar el tubo o la máquina.



Es recomendable indicar como mínimo sobre el tubo, con un rotulador, la hora final del tiempo de enfriamiento, la fecha de realización de la soldadura y el número de carné de instalador AseTUB (si dispone de él).

Fig. 3.7 Marcado de ejecución de soldadura
(Nº carné AseTUB, Fecha, nº de soldadura, hora de inicio y final del tiempo de enfriamiento)

Tienda de protección. Tubo PE 100 DN 1600

Soldando con 2 máquinas DN 1000

Codo manipulado y manguito EF DN 800

Codo 90º PE 100 polivalente

Fig. 3.8 Instalaciones con soldadura a tope

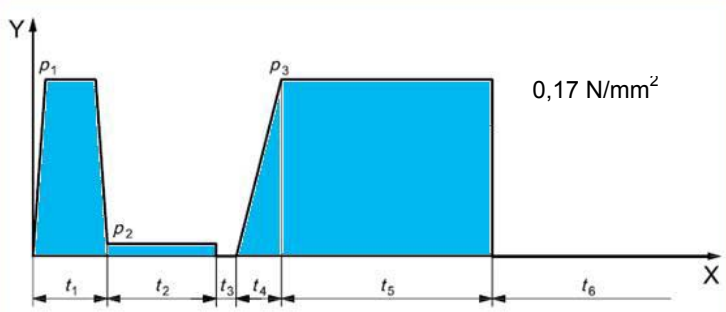
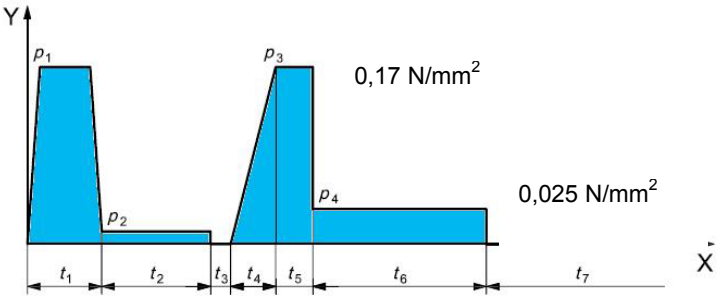
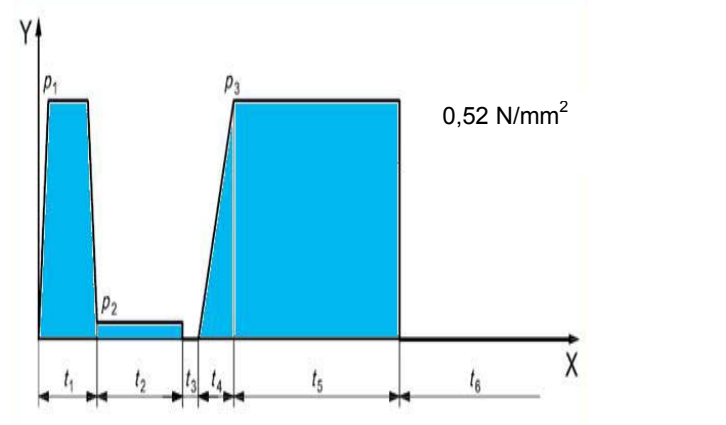
3.5 Sistemas de soldadura a tope

En la Introducción de la norma ISO 21307, podemos leer: "*Con el incremento del uso de los materiales de polietileno bimodales, como PE 80 y PE 100, cada día están apareciendo más compuestos de PE en el mercado de tubos, acompañados de propuestas de procedimientos de soldadura a tope que a menudo difieren dentro del mismo material. El objetivo de la normalización es impulsar el uso de procedimientos similares para los mismos tipos de materiales. Por todo ello, existe una necesidad de analizar, a escala mundial, las prácticas usuales de ejecución de soldaduras a tope en sistemas de abastecimiento y distribución de agua y gas, con objeto de establecer los mejores procedimientos que garanticen la máxima calidad de las soldaduras, de modo consistente y eficiente.*"

La norma ISO 21307 indica que se pueden soldar tubos de PE 80 y PE 100 que estén fabricados con materia prima que tengan un Índice de Fluidez entre 0,3 y 1,7 g/10 min con las condiciones de 190ºC/5 kg, con equipos que cumplan la ISO 12176-1 y que la instalación se realice según la ISO/TR 10839.

La norma ISO 21307: *Plastics pipes and fittings – Butt fusion jointing procedures for polyethylene (PE) pipes and fittings used in the construction of gas and water distribution systems*, contempla los sistemas siguientes:

Tabla 3.3 Sistemas de soldadura a tope

Baja presión single - Temperatura placa: 200 a 245ºC - Presión inicial y final $P_1 = P_3 = 0{,}17$ N/mm^2 *Normas de referencia:* - DVS 2207-1 (Alemania) - NEN 7200 (Holanda) - UNE 53394 (España)	
Baja presión dual - Temperatura placa: 200 a 245ºC - Presión inicial y final $P_1 = P_3 = 0{,}17$ N/mm^2 - $P_4 = 0{,}025$ N/mm^2 *Normas de referencia:* - UNI 10520 (Italia) - WIS 4-32-08 (UK)	
Alta presión - Temperatura placa: 200 a 230ºC - Presión inicial y final P1 = P3 = 0,52 N/mm^2 *Norma de referencia:* - ASTM D 2657 (USA)	

Ejemplo:

Cálculo de los parámetros de soldadura para un tubo PE 100 DN 500 SDR 11, espesor nominal 45,4 mm y PN 10 bar. Resultado de los parámetros en **azul**.

Tabla 3.4 Parámetros de los Sistemas de soldadura a tope

Parámetro		*Unidad*	***Baja presión single***	***Baja presión dual***	***Alta presión***
Temperatura placa	T	ºC	200 a 245	200 a 245	200 a 230
Presión inicial	p_1	MPa	0,17 ± 0,02	0,17 ± 0,02	0,52 ± 0,01
Altura bordón inicial	h	mm	0,5 + 0,1 e_n (max. 6mm) **5,04**	0,5 + 0,1 e_n (max. 6mm) **5,04**	0,5 + 1 **7,81**
Mínimo tiempo calentamiento	t_2	s	(11 ± 1) e_n **454-544,8**	10 e_n + 60 **514**	(11 ± 1) e_n **454-544,8**
Presión de calentamiento	p_2	MPa	presión de arrastre	presión de arrastre	presión de arrastre
Máximo tiempo retirada placa	t_3	s	0,1 e_n + 4 **8,54**	0,1 e_n + 4 **8,54**	0,1 e_n + 8 **12,54**
Presión de fusión	p_3	MPa	0,17 ± 0,02	0,17 ± 0,02	0,52 ± 0,01
Tiempo rampa presión	t_4	s	0,4 e_n + 2 **16,16-20,16**	------	------
Tiempo unión por fusión,	t_5-dual	s	------	10 ± 1	------
Presión reducida en el enfriamiento	p_4	MPa	------	(0,025 ± 0,002) e_n > 20mm **0,023-0,027**	------
Mínimo tiempo enfriamiento bajo presión	T_5	min	e_n + 3 **48,4**	e_n + 3 **48,4**	0,43 e_n **19,52**
Mínimo tiempo enfriamiento sin presión	t_6	min	e_n + 3 **48,4**	e_n + 3 **48,4**	a)

a) Un tiempo de enfriamiento fuera de la máquina y antes de mover la tubería puede ser recomendado, pero en la mayoría de los casos no es necesario con estos tiempos de enfriamiento.

e_n = espesor nominal del tubo o accesorio en mm

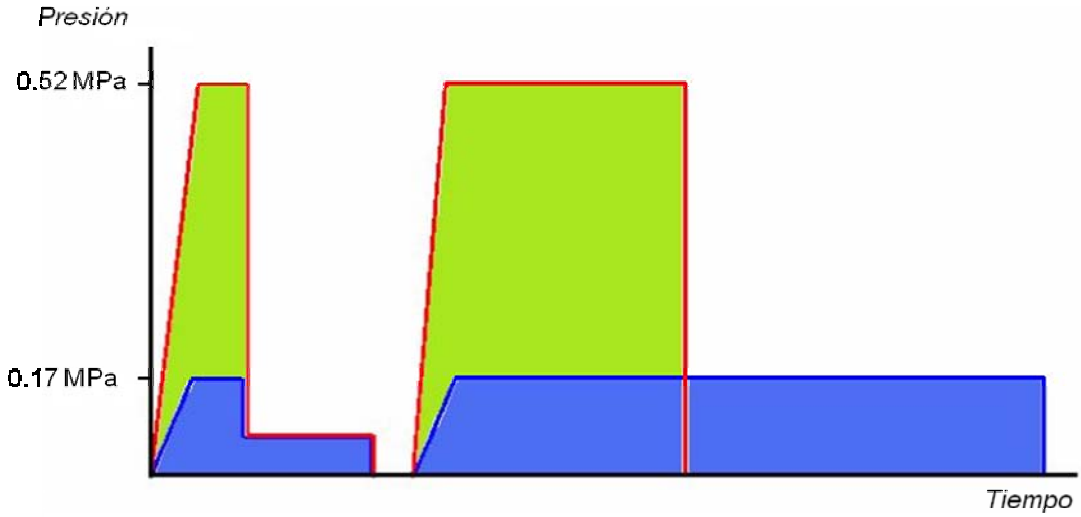


Fig. 3.9 Comparación sistemas de alta y baja presión single

4. Control de la Calidad de las soldaduras a tope

4.1 Factores que influyen en la calidad de la soldadura

- **Condiciones de trabajo**

El viento puede causar problemas en la calidad de la soldadura. Se pueden enfriar zonas de la placa y causar desigual distribución de temperatura en la misma. Es recomendable proteger la unión del sol, del viento y del polvo, poniendo una tienda en el lugar de trabajo. Bajas temperaturas ambientales no implican necesariamente que la calidad de las soldaduras sea mala, es posible obtener buenas soldaduras a temperaturas de -5ºC.

Hay que tener cuidado de mantener limpios los extremos de los tubos y la placa calefactora, libres de polvo, arena o arcilla. Una soldadura contaminada puede reducir su vida drásticamente. La suciedad se elimina usando un trapo limpio. Hay que tener la precaución de no tocar con las manos las superficies a soldar una vez refrentadas.

- **Alineación**

Desalineaciones de los extremos de los tubos pueden también causar una reducción de la vida útil de la soldadura o de su resistencia. Estas pueden ser causadas por un alineamiento incorrecto del tubo en las abrazaderas de la máquina o porque los extremos estén mal cortados o refrentados. Es importante conseguir una desalineación lo más pequeña posible. Si el desalineamiento es excesivo, se pueden producir formas afiladas (entallas), con concentración de tensiones. El desalineamiento no debe exceder del 10% del espesor del tubo.

- **Índice de Fluidez**

El índice de fluidez nos define la compatibilidad de la soldadura. Un criterio para soldar diferentes materiales es tener en cuenta su Índice de Fluidez (MFR). No existen problemas de soldadura entre tubos de PE 80 y/o PE 100 que tengan un Índice de Fluidez MFR 190ºC/5Kg situado entre 0,3 y 1,7 g/10 min.

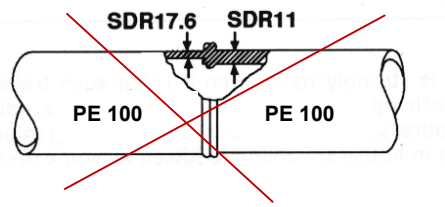
- **Parámetros de soldadura**

Los parámetros de soldadura a tope son: Presión, Temperatura y Tiempo. Es imprescindible cumplir con estos parámetros definidos si queremos obtener una soldadura fiable y duradera.

- **Diferencia de espesores**

Se recomienda no unir tubos de diferente material y con distintos espesores de pared, utilizando la soldadura a tope:

INCORRECTO



El procedimiento de soldadura a tope solamente debe ser utilizado para unir tubos con el mismo espesor de pared:

CORRECTO

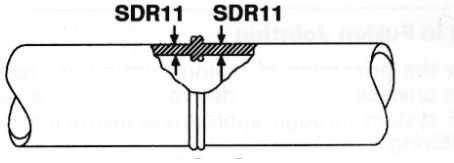


Fig. 4.1 Sección soldaduras a tope

4.2 Control de la calidad de la soldadura

En un principio, se realizaron en laboratorio ensayos destructivos, como resistencia a la presión interior a corto y largo plazo, resistencia a la tracción y alargamiento a la rotura, para comprobar la idoneidad de los parámetros de soldadura utilizados. Una vez comprobado que éstos parámetros eran idóneos, ahora simplemente se trata de aplicarlos y controlarlos.
Hoy en día, la inspección visual del tipo de bordón da una idea de la calidad de la soldadura. Siendo este método el más utilizado para identificar posible fallos en la misma o si ha sido realizada correctamente.

Las soldaduras pueden ser inspeccionadas utilizando métodos no destructivos o destructivos a corto o largo plazo.

4.2.1 Métodos no destructivos

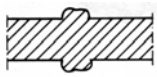
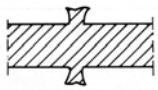
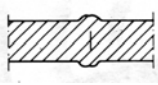
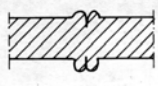
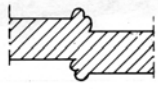
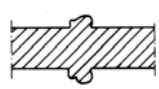
Ejemplos de métodos no destructivos son:

- Inspección visual del bordón de soldadura (método comúnmente utilizado).
- No usuales para tubos en obra, inspección por ultrasonidos, rayos X, radiografía, termografía, reflexión holográfica y ensayos de alta frecuencia eléctrica.

Control visual de la soldadura

La inspección visual es muy valiosa y sirve para detectar algunos defectos, como desalineación, poros o inclusiones, errores en los parámetros de soldadura,... Aunque un correcto bordón no es suficiente garantía de buenas propiedades mecánicas, esta inspección visual es necesaria para el control de calidad en la obra.
Si la soldadura obtenida es defectuosa, deben cortarse los extremos y soldar de nuevo. No obstante, si se siguen los pasos e indicaciones para la correcta ejecución de una soldadura a tope, la soldadura a tope será resistente y segura.

Tabla 4.1 Tipos de bordones

CORRECTO	
	1.- Bordón redondeado Soldadura correcta
INCORRECTO	
	2.- El bordón es demasiado estrecho y alto Exceso de presión
	3.- El bordón es muy pequeño Presión insuficiente
	4.- Una hendidura profunda en el centro del bordón Temperatura insuficiente o tiempo de transición demasiado largo
	5.- Desalineamiento La desviación máxima permitida es del 10% del espesor de pared
	6.- Diferentes espesores de pared Se recomienda utilizar accesorios electrosoldables
	7.- Los materiales tienen diferentes temperaturas de fusión

4.2.2 Ensayos destructivos a corto plazo

Resistencia a la tracción

La antigua norma, ahora anulada, UNE 53365 indicaba que la resistencia a la tracción en tubos de PEAD será como mínimo de 19 MPa, utilizando probetas que incluyan en su parte central una soldadura a tope, en la que se ha eliminado el bordón. Además se determinará el coeficiente de soldadura como la relación P/P' en donde P y P' son los valores de resistencia a la tracción con probetas soldadas y sin soldar respectivamente. Este coeficiente de soldadura debe estar comprendido entre 0,8 y 1.

Actualmente, la resistencia mecánica de una unión soldada se puede comprobar mediante ensayos de tracción con probetas extraídas de la soldadura en la dirección longitudinal del tubo. Los ensayos se realizan de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 6259. En este ensayo, la rotura final suele ocurrir fuera del plano de la soldadura.

Con objeto de conseguir que la rotura ocurra en la unión soldada, se realizan unos taladros en la probeta para que las tensiones se localicen en la soldadura, tal y como se indica en las probetas A y B de la norma UNE-ISO 13953, indicadas a continuación:

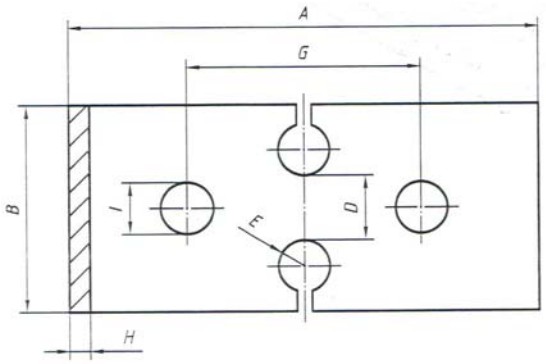


Fig.4.2 Probeta mecanizada tipo A (para espesores < 25 mm)

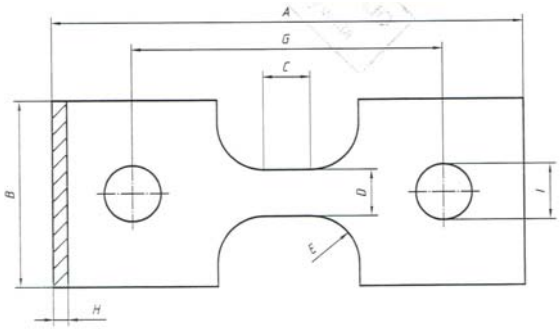


Fig. 4.3 Probeta mecanizada tipo B (para espesores ≥ 25 mm)

Tabla 4.4 Dimensiones de las probetas tipos A y B según UNE-ISO 13953

Símbolo	*Descripción*	*Dimensiones de probeta tipo A*		*Dimensiones de probetas tipo B*
		Dn ≤ 160	*Dn > 160*	
A	Longitud (min)	180	180	250
B	Anchura total	60 ± 3	80 ± 3	100 ± 3
C	Longitud de la zona paralela estrecha	No aplicable	No aplicable	25 ± 1
D	Anchura de la zona estrecha	25 ± 1	25 ± 1	25 ± 1
E	Radio	5 ± 1	10 ± 1	25 ± 1
G	Distancia inicial entre taladros	90 ± 1	90 ± 1	165 ± 1
H	Espesores	espesor de la pared	espesor de la pared	espesor de la pared
I	Diámetro agujeros de tracción	20 ± 1	20 ± 1	30 ± 1

Uniones soldadas de mala calidad son características por dar esfuerzos de rotura bajos, la calidad de la soldadura requiere examen visual de la superficie rota, para determinar si la rotura es dúctil o frágil.

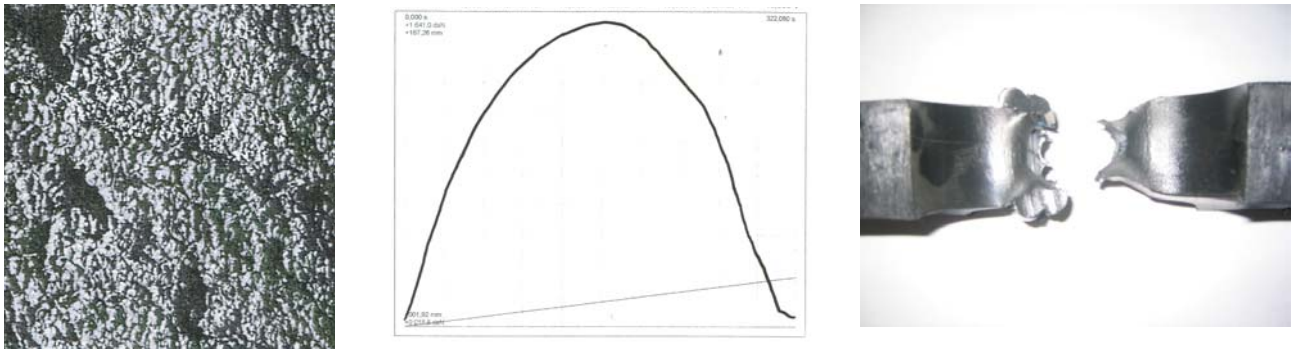


Fig.4.5 Típica rotura dúctil

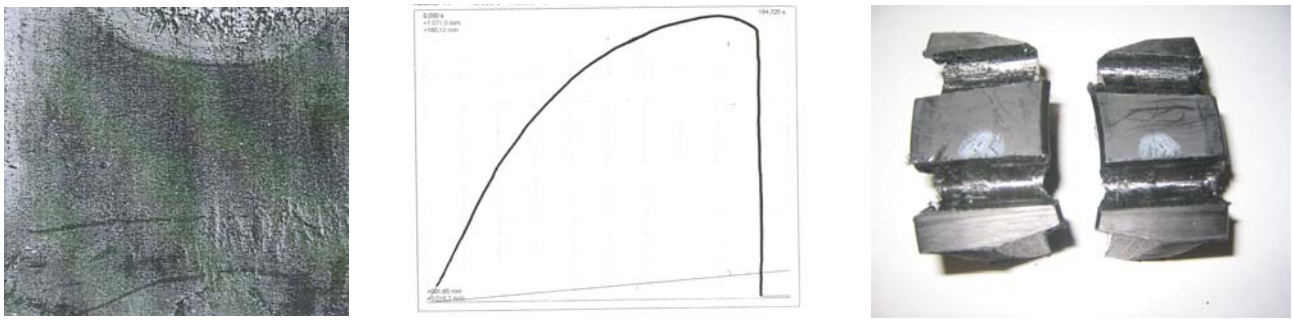


Fig.4.6 Típica rotura frágil

Se puede definir si la rotura es dúctil o frágil, observando si hay arranque de material en la superficie de la rotura (dúctil) o no (frágil). También si observamos las curvas de tracción situadas en medio de las figuras anteriores, comprobamos que en la rotura frágil la curva cae bruscamente en un punto sin resistencia a la rotura ni alargamiento.

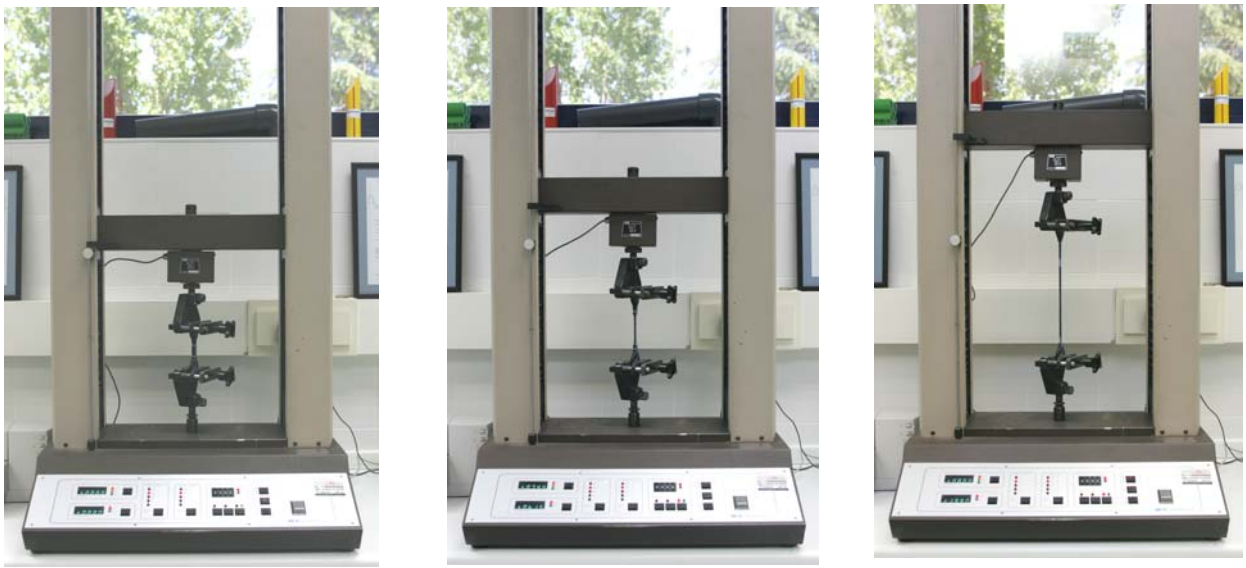


Fig.4.7 Ensayo de resistencia a la tracción y alargamiento

Ensayo de curvatura

Otro ensayo de corto plazo similar al anterior, es el ensayo de curvatura según la norma UNE-EN 12814-1, que consiste en someter una probeta a una deformación por curvatura a velocidad constante sin que se invierta la dirección de la curvatura durante el ensayo.

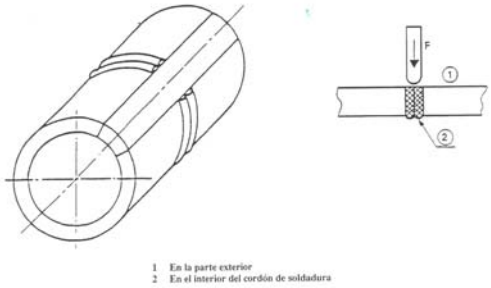


Fig.4.8 Extracción de la probeta en el tubo

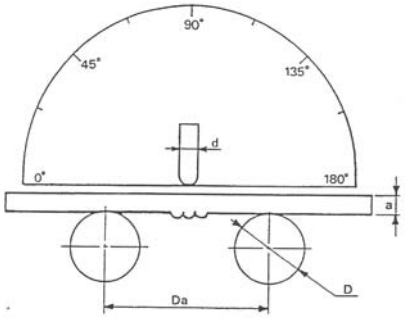


Fig. 4.9 Determinación del ángulo de curvatura con indicador

El ángulo de curvatura (desplazamiento del pisón) y la aparición de fractura proporcionan una guía de la ductilidad de la unión soldada y por tanto de la calidad de la soldadura. El ángulo final (posición final del pistón) se mide cuando ocurre la fractura, es perceptible una grieta a simple vista o cuando se alcanza una carga máxima. Si no aparece ninguna grieta, el ensayo se termina bien a un ángulo de curvatura de 160º, bien a un determinado desplazamiento del pisón dado en la tabla 2 de la UNE-EN 12814-1.

4.2.3 Ensayos destructivos a largo plazo

Resistencia a la presión interior

Un método de ensayo usual es el de resistencia de los probetas soldadas a presión hidráulica. Para reducir los tiempos de ensayos se utilizan temperaturas elevadas o determinados agentes químicos.

Fig. 4.10 Probetas soldadas

Parámetros del ensayo de resistencia a la presión hidráulica interior:

Tubos de PE 100:

- 20ºC/100h ; σ = 12,4 MPa (aprox. 1.55 PN)
- 80ºC/165h ; σ = 5,4 MPa (aprox. 0.68 PN)
- 80ºC/1000h ; σ = 5,0 MPa (aprox.0.60 PN)

σ = Esfuerzo circunferencial de ensayo

Fig. 4.11 Ensayo presión interna

Entre paréntesis se ha indicado la presión interior aproximada del ensayo respecto a la presión nominal (PN), siendo estos valores los mismos que para los ensayos de los tubos por lo que si no se producen fallos en ninguna probeta, el ensayo es correcto.

Fluencia

Otro método de largo plazo es el de fluencia en tracción de uniones soldadas. El ensayo consiste en someter una probeta, obtenida de la zona de la soldadura, a carga constante hasta que se produzca la rotura. Se mide y se registra el tiempo necesario para la rotura.

Ensayos a largo plazo de fluencia a tracción con carga constante se pueden utilizar para diferenciar calidad entre soldaduras. Para acortar la duración del ensayo es posible emplear una solución acuosa surfactante apropiada como medio de contacto, tanto para las probetas soldadas como para aquellas sin soldar.

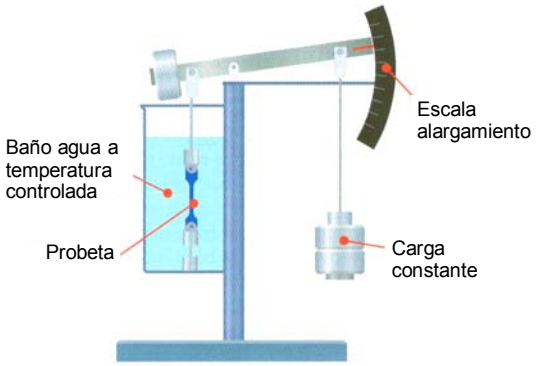


Fig. 4.12 Determinación de la fluencia a tracción a largo plazo según UNE-EN 12814-3

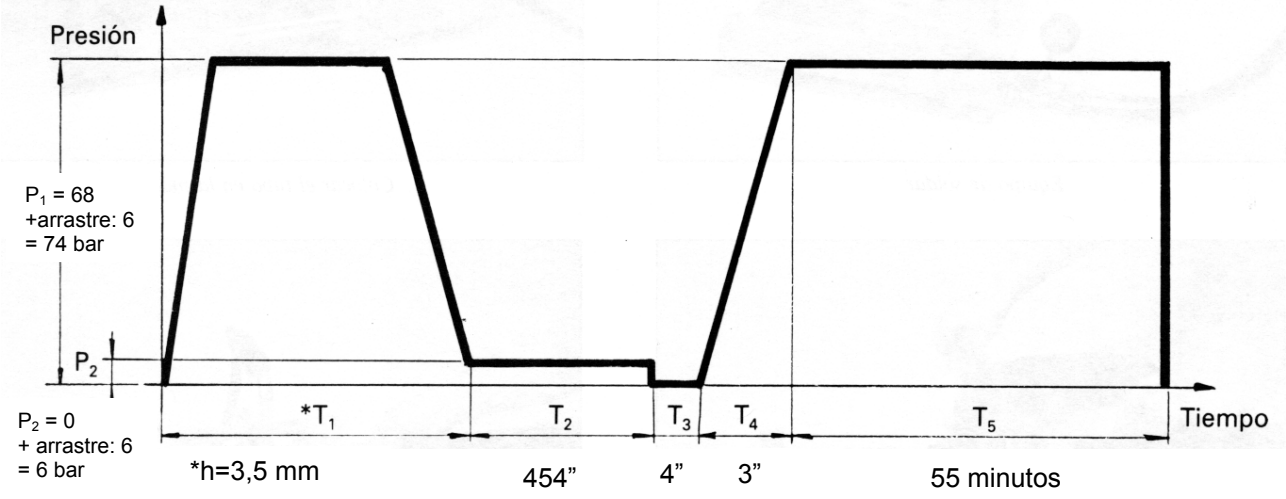
4.3 Ensayos de resistencia a la tracción y a la curvatura. Caso práctico

Resultados de los ensayos realizados entre el 28.07.05 y el 08.09.05 en el laboratorio alemán DVS – Schweißtechnische Lehranstalt Koblenz – Kunststoff Center sobre muestras de tubos PE100 DN500 SDR 11 PN 16 bar.

Soldadura de tubos probeta

Indicamos a continuación los parámetros de las soldaduras a tope y los ensayos de tracción y curvatura:

FICHA TÉCNICA – Parámetros de soldadura a tope



Máquina de soldar Ref. **PL-501**
Tubo PE 100 / DN 500 mm / e = 45,4 mm / PN 16 bar
Fecha: **13.07.05**
Firma: **ST**

Probetas tubos PE 100 DN 500 x 45,4 SDR 11 PN 16 bar

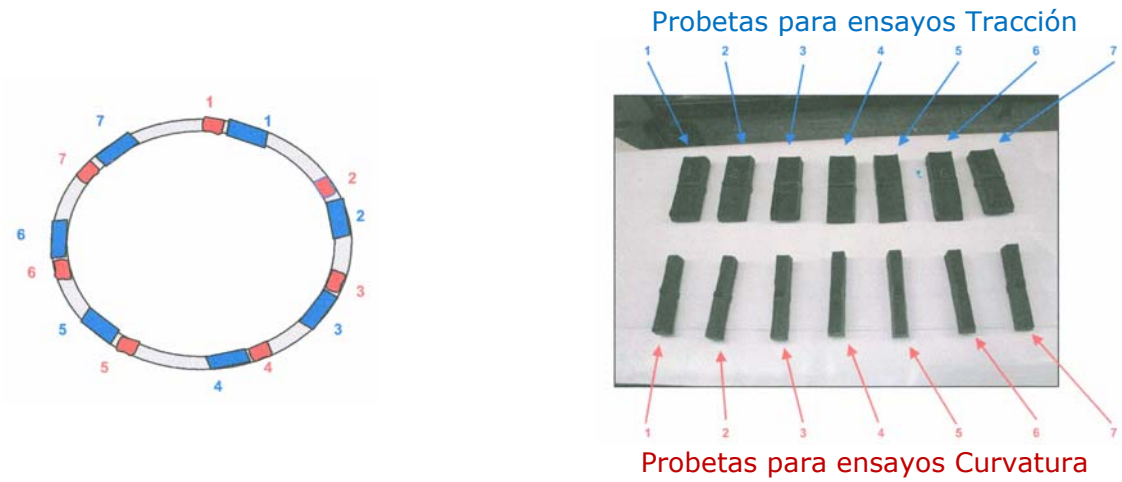
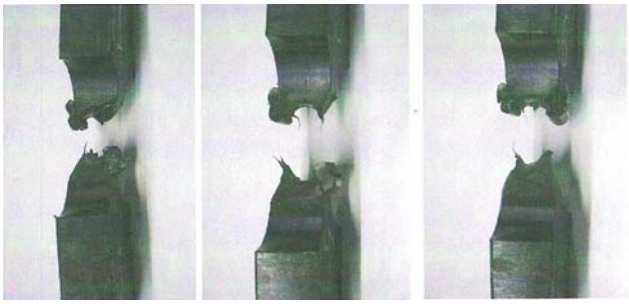


Fig. 4.13 Extracción probetas para ensayos de Tracción y Curvatura

Resistencia a la tracción según ISO 13953

- Tubos PE 100 DN 500 x 45.4 SDR 11 PN 16 bar.
- Velocidad 5 mm/min
- Probetas tipo B

Probeta	S (mm^2)	D (mm)	F (kN)	Tipo de rotura
1	1135	25	28.08	dúctil
2	1135	25	29.94	dúctil
3	1135	25	30.74	dúctil
4	1135	25	29.10	dúctil
5	1135	25	29.78	dúctil
6	1135	25	30.40	dúctil
7	1135	25	29.36	dúctil



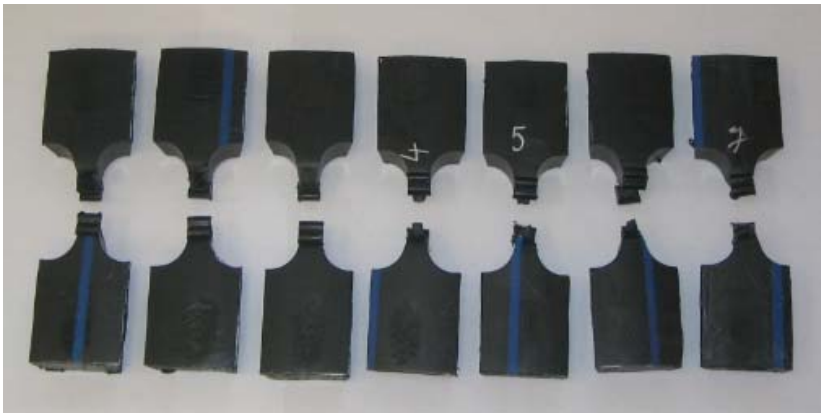


Fig. 4.14 Ensayos tracción. Probetas tipo B según ISO 13953

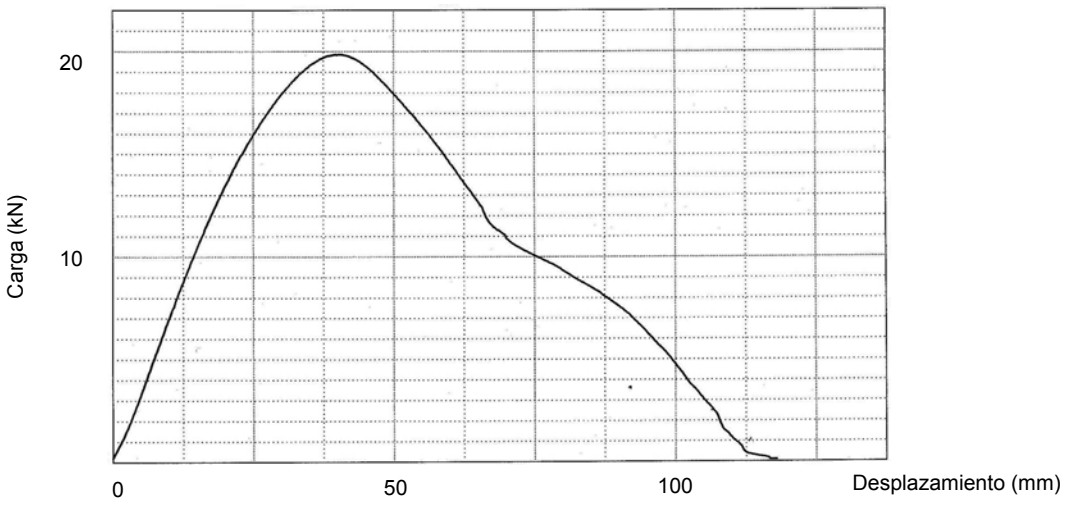


Fig. 4.15 Ensayo de tracción. Rotura dúctil

Cálculos

n = 7	s mm	B Mm	Lv mm	E_{mod} N/mm²	F_{max} N	σ_{max} N/mm²	L_{max} mm	$a_{max.}$	$a_{max.}$ - kprr
$\bar{x}$	45.00	30.00	210.00	229.39	13681.14	70.94	163.45	152.20	152.19
s	0.00	0.00	0.00	98.60	866.57	4.49	3.35	0.86	0.85
Ψ	0.00	0.00	0.00	42.98	6.33	6.33	2.05	0.57	0.56

Ensayo de curvatura según UNE-EN 12814-1 (DVS 2203-5)

- Tubos PE 100 DN 500 x 45,4 SDR 11 PN 16 bar.
- Velocidad 50 mm/min

Nr	e mm	b mm	Lv Mm	E_{mod} N/mm²	F_{max} N	σ_{max} N/mm²	L_{max} mm	$a_{max.}$	$a_{max.}$ - kprr	Valor
1	45	30	210	398.44	14999.86	77.78	161.26	151.63	151.64	Sin rotura
2	45	30	210	254.67	14079.08	73.00	159.90	151.26	151.26	Sin rotura
3	45	30	210	68.11	12552.90	65.09	164.03	152.38	152.41	Sin rotura
4	45	30	210	199.89	12894.31	66.86	162.50	151.97	151.98	Sin rotura
5	45	30	210	205.20	14410.90	74.72	161.67	151.74	151.72	Sin rotura
6	45	30	210	212.96	13269.63	68.81	164.74	152.56	152.48	Sin rotura
7	45	30	210	266.49	13561.28	70.32	170.07	153.88	153.87	Sin rotura

Fig. 4.16. Ensayos Curvatura según UNE-EN 12814-1 (DVS 2203-5)

5. Soldadura de grandes diámetros de tubos de PE

5.1 Introducción

La soldadura de tubos de PE de gran diámetro requiere una atención especial, debido a los mayores pesos de los tubos y de las fuerzas involucradas en el proceso de soldadura, los cuales han de ser controlados para conseguir una soldadura resistente y duradera. Desde 1972 se están instalando en Europa tubos de PE hasta DN 1600 mm con el sistema de unión de soldadura a tope, por lo que hay una experiencia considerable sobre el comportamiento de estas uniones.

Los tiempos de calentamiento y enfriamiento son los parámetros más críticos de la soldadura a tope, por lo que se deben mantener los indicados en las correspondientes tablas de las máquinas de soldar. A continuación y en orden de importancia está la temperatura. No es posible conseguir una unión soldada de mayor calidad aumentando la temperatura

Condiciones básicas para obtener una soldadura correcta:

- Equipo de soldar en buenas condiciones y personal formado
- Las superficies a soldar han de estar limpias
- Proteger la soldadura de las inclemencias ambientales (viento, lluvia, etc.)
- Los dos extremos de los tubos a ser soldados, se han de calentar lo necesario para tener suficiente material fundido, es decir, mantener los tiempos de calentamiento.
- Utilizar las presiones tabuladas y mantenerlas durante el calentamiento y enfriamiento
- Mantener los tiempos de enfriamiento necesarios.

5.2 Consideraciones especiales

La experiencia nos dice que los tiempos de calentamiento y enfriamiento han de ser suficientemente largos para obtener buenos resultados. Los tiempos y las presiones de soldaduras han de ser controladas.
El peso de estos grandes tubos provoca mayor resistencia a la fricción (presión de arrastre). La fuerza o presión de arrastre es la fuerza que necesitamos hacer para mover el tubo hasta conectar con la placa de calentamiento.

Parámetros que pueden dificultar el control de las soldaduras:

a) Tiempo retirar placa y cerrar

Cuando soldamos tubos de PE de gran diámetro hay que conseguir tiempos cortos de retirada de la placa ya que en caso contrario tenemos los extremos de los tubos a soldar expuestos al aire, causando enfriamientos y oxidación en las superficies a soldar que influyen en la calidad de las soldaduras. Hay dos razones que dificultan la retirada de la placa y el cierre de la máquina de tubos de gran diámetro, por un lado el PE se pega a la placa y por otro lado el peso de la misma placa dificulta su retirada rápidamente.

Estos problemas pueden solucionarse utilizando placas recubiertas de Teflón y utilizando un dispositivo para retirar la placa rápidamente. Las nuevas generaciones de máquinas de soldar a tope disponen de sistemas que retiran la placa rápidamente

b) Presión de enfriamiento

La presión de arrastre es a menudo importante, incluso superior a la mitad de la presión de soldadura aunque no se debe sobrepasar este valor. Se recomienda utilizar soportes de rodillos para disminuir la presión de arrastre. La fuerza de arrastre se ha de medir y sumar a la presión de soldadura y a la de enfriamiento. Inmediatamente después del cierre de la máquina para unir, es importante comprobar la presión de soldadura + la presión de arrastre. La fuerza en los tubos durante el enfriamiento ha de exceder de la fuerza de arrastre para compensar la fusión de ambos tubos. De otra forma, el resultado puede darnos presiones negativas de soldadura y grandes tensiones residuales, incluso poros, lo que disminuiría la vida útil de la soldadura a largo plazo.

Fig. 4.17. Tubos de PE de gran diámetro

6. Trazabilidad y control

La trazabilidad en una canalización es un conjunto estructurado de datos que suministran información y permite seguir el rastro sobre los diferentes componentes y uniones de la red, tales como la forma como se fabricaron, la forma como se instalaron y donde están exactamente instalados.

Los factores que determinan la calidad de una unión soldada son: la calidad individual de los componentes, los parámetros de fusión y la forma en que la soldadura es preparada y realizada.

Hemos de tener en cuenta que las únicas uniones que permiten la automatización de su proceso y por lo tanto garantizan un seguimiento completo antes y después de su ejecución, son la soldadura a tope y la soldadura por electrofusión, además con estos dos sistemas de unión, se conservan todas las características y propiedades de una conducción de polietileno, al no intervenir ningún elemento que pudiera modificar sus facultades.

Los distintos datos necesarios para construir un sistema de este tipo, tienen que ser registrados y procesados. Esto es mejor hacerlo de forma totalmente automática. La lectura manual podría llevar mucho tiempo y por consiguiente ser demasiado cara y lo que es más, el riesgo del error humano es mucho mayor, lo cual podría tener un impacto negativo sobre la fiabilidad de los datos almacenados. Tiene que prepararse un detallado procedimiento, debido a que poner en marcha un sistema de trazabilidad requiere una especial preparación.

De esta forma los datos de trazabilidad registrados pueden clasificarse en cuatro apartados:

- Datos de Operario
- Datos de Obra
- Datos de los productos componentes
- Datos del proceso de preparación y fusión.

Todas las soldaduras realizadas, serán almacenadas y registradas por el equipo de soldar. Con los datos de las fusiones realizadas, disponemos de diversas opciones:

- Visualizarlos por pantalla (100% de los datos)
- Imprimirlos, para lo que existen diversas opciones (última, las del día, establecer rango, etc.)
- Exportarlos a un PC compatible. Mediante una aplicación y un cable de transmisión suministrados con cada unidad. Cuando se utiliza esta opción el aplicativo genera un campo adicional (checksum) llamado "control" que impide que los datos transferidos puedan ser manipulados.
- Exportarlos una unidad de almacenamiento externo (pendrive, disco duro, etc.)
- Borrarlos (se precisa una tarjeta de password para prevenir borrarlos accidentales o efectuados por personas no autorizadas.

De esta forma el propietario de estos equipos, o la empresa que prescriba la obra puede establecer un sistema de control para garantizar que todas las fusiones realizadas por un equipo, en una obra concreta están ejecutadas según los parámetros de fusión establecidos y el resultado con que se han realizado.

PROTOCOLO DE SOLDADURA A TOPE PARA TUBOS Y ACCESORIOS DE POLIETILENO.

O Enterrado

O Aéreo/Superficie

Material:

Página | de

Cliente:

Instalador:

Obra:

Soldador:

Nº:

Nº Orden:

Compañía supervisora:

Equipo:

Etiqueta:
Tipo:
Máquina nº:
Año de construcción:

Clima:
1. sol
2. seco
3. lluvia o nieve
4. viento

Medidas preventivas:
1. ninguna
2. paraguas
3. tienda
4. calefacción

Indicar en caso de varias condiciones, ej. 34 lluvia y viento

Nº soldadura	Fecha	Tubo DN x e mm	Temperatura placa ºC min/max	Presión arrastre bar	Presión de unión bar	valores presión		Tiempo calentamiento (T_2) s	Tiempo retirar placa (T_3) s	Tiempo aumento presión (T_4) s	Tiempo enfriamiento bajo presión (T_5) s	Temperatura ambiental ºC	Nº código		notas
						Fusión P_3 bar	Calentamiento P_4 bar						Clima	Medidas preventivas	

Firma soldador:

Fecha y firma supervisor:

7. Calibración periódica y control del buen estado de las máquinas

Los equipos de soldar deben estar calibrados y revisados como mínimo una vez al año, por el fabricante o el servicio oficial de los mismos, de acuerdo con las siguientes normas:

Electrofusión
ISO 12176-2 Equipment for fusion joining polyethylene systems. Part 2: Electrofusion ISO 12176-3 Equipment for fusion joining polyethylene systems. Part 3: Operator's badge. ISO 12176-4 Equipment for fusion joining polyethylene systems. Part : Traceability coding. ISO/TR 13950 Plastics pipes and fittings -- Automatic recognition systems for electrofusion
Soldadura a tope
ISO 11414 Preparation of test piece assemblies between pipe/pipe or pipe/fitting in polyethylene (PE) by butt fusion ISO 12176-1 Equipment for fusion joining polyethylene systems. Part 1: Butt fusion ISO 12176-3 Equipment for fusion joining polyethylene systems. Part 3: Operator's badge. ISO 12176-4 Equipment for fusion joining polyethylene systems. Part 4: Traceability coding.

8. Conclusiones

La garantía de la calidad de la soldadura hay que basarla en el control de los parámetros de soldadura, presiones, temperatura placa, tiempos y por supuesto limpieza. Estos parámetros son fundamentales para conseguir una buena soldadura. Hasta ahora no se ha establecido un método de ensayo no destructivo capaz de proporcionar una correlación del comportamiento de las soldaduras a tope a largo plazo.

En ocasiones es difícil definir si una rotura es dúctil o frágil en el ensayo de tracción ya que hay roturas micro dúctiles e incluso la norma WIS 4-32-17 habla de un tercer tipo que le llama rotura mixta. Además no está definido en ninguna norma el criterio de aceptación o rechazo cuando en la misma soldadura tenemos roturas dúctiles y mixtas, estando ahora mismo pendientes de normativa que defina este criterio. Lo que sí está claro es que en casos de duda, el ensayo de resistencia a la presión interna tanto a corto como a largo plazo es el mejor para conocer la calidad de una soldadura a tope.

El óptimo comportamiento de las tuberías de PE está contrastado en la práctica ya que su utilización en las redes de conducción de agua (y otras aplicaciones) es común desde hace muchos años. Para conseguir una instalación fiable y duradera es necesario seguir los códigos de buena práctica de manipulación y montaje de las tuberías. El control de los parámetros de soldadura, presiones, temperatura placa, tiempos y limpieza, es fundamental para conseguir una soldadura perfecta; pero tampoco nos debemos olvidar del buen estado de los equipos de soldar, que deben estar calibrados y dentro del periodo de verificación.

Otro punto importante es la formación de los soldadores. La mejor forma de realizar con garantías una instalación de tubos de PE es que el soldador esté acreditado con el **Carné AseTUB** *de Especialista en instalación de sistemas de tuberías plásticas.*

En la web de AseTUB (www.asetub.es) puede encontrar información de este Carné de Especialista en Instalación de tuberías plásticas y un listado con todos los instaladores que están en posesión del Carné AseTUB.

Especialista
en Instalación de Sistemas
de Tuberías Plásticas
Nombre
Apellidos
Validez hasta fin de:
diciembre/2008
Doc. Nº: A030065
AseTUB

Instalación
PVC PE PP PRFV
Abastecimiento, Riego y Saneamiento
AseTUB

AseTUB
REGISTRO de
INSTALACIONES
REALIZADAS
RIR

9. Normas de soldadura tubos PE y otros documentos de referencia

UNE

UNE 53394 IN	Materiales Plásticos. Código de instalación y manejo de tubos de polietileno (PE) para conducción de agua a presión. Técnicas recomendadas.

UNE-EN

UNE-EN 473	Ensayos no destructivos. Cualificación y certificación del personal que realiza ensayos no destructivos. Principios generales.
UNE-EN 970	Examen no destructivo de soldaduras por fusión. Examen visual. *(materiales metálicos)*
UNE-EN 12345	Soldeo. Relación multilingüe de términos relativos a uniones soldadas con ilustraciones.
UNE-EN 12814-1/AC	Ensayo de uniones soldadas en productos termoplásticos semi-acabados. Parte 1: Ensayo de curvatura.
UNE-EN 12814-1	Ensayo de uniones soldadas en productos termoplásticos semi-acabados. Parte 1: Ensayo de curvatura.
UNE-EN 12814-2	Ensayo de uniones soldadas en productos termoplásticos semiacabados. Parte 2: Ensayo de tracción
UNE-EN 12814-3	Ensayo de uniones soldadas en productos termoplásticos semiacabados. Parte 3: Ensayo de fluencia en tracción.
UNE-EN 12814-4	Ensayo de uniones soldadas en productos termoplásticos semiacabados. Parte 4: Ensayo de pelado.
UNE-EN 12814-5	Ensayo de uniones soldadas en productos termoplásticos semiacabados. Parte 5: Examen macroscópico.
UNE-EN 12814-6	Ensayo de uniones soldadas en productos termoplásticos semiacabados. Parte 6: Ensayo de tracción a baja temperatura.
UNE-EN 12814-7	Ensayos de uniones soldadas en productos termoplásticos semiacabados. Parte 7: Ensayos de tracción con probetas con entalla en U.
UNE-EN 12814-8	Ensayo de uniones soldadas en productos termoplásticos semiacabados. Parte 8: Requisitos.
UNE-EN 12814-8/AC	Ensayo de uniones soldadas en productos termoplásticos semiacabados. Parte 8: Requisitos.
UNE-EN 13067	Personal de soldeo de materiales plásticos. Ensayos de cualificación de soldadores. Conjuntos de accesorios termoplásticos con uniones soldadas
UNE-EN 13100-1	Ensayos no destructivos de las uniones soldadas en productos termoplásticos semi-acabados. Parte 1: Examen visual
UNE-EN 13100-2	Ensayos no destructivos de las uniones soldadas en productos termoplásticos semi-acabados. Parte 2: Ensayo radiográfico mediante rayos X
UNE-EN 13100-3	Ensayos no destructivos de las uniones soldadas en productos termoplásticos semi-acabados. Parte 3: Ensayo de Ultrasonidos

UNE-EN ISO (y UNE ISO)

UNE-EN ISO 3126	Sistemas de canalización en materiales plásticos. Componentes de materiales plásticos. Determinación de las dimensiones
UNE-EN ISO 6259	Tubos termoplásticos. Determinación de las propiedades de tracción.
UNE-ISO 13953	Tubos y accesorios de Polietileno (PE) – Determinación de la resistencia a la tracción y tipo de rotura en probetas soldadas a tope.
UNE-EN ISO 15494	Sistemas de canalización en materiales plásticos para aplicaciones industriales. Polibuteno (PB), polietileno (PE) y polipropileno (PP) Especificaciones para componentes y el sistema. Series Métricas
UNE-EN ISO 17659	Soldeo. Relación multilingüe de términos con ilustraciones para uniones soldadas.

DVS

DVS 2202-1	Imperfections in thermoplastic welding joints; features, descriptions, evaluation
DVS 2203-4	Testing of welded joints of thermoplastics plates and tubes. Tensile creep test
DVS 2203-5	Testing of welded joints of thermoplastics plates and tubes. Technological bend test
DVS 2207-1	Welding of thermoplastics. Heated tool welding of pipes, pipeline components and sheets made from PE-HD
DVS 2208-1	Welding of thermoplastics. Machines and devices for the heated tool welding of pipes pipeline components and sheets

ISO

ISO/TS 10839	Polyethylene pipes and fittings for the supply of gaseous fuels – Code of practice for design, handling and installation.
ISO 11414	Plastics pipes and fittings – Preparation of polyethylene (PE) pipe/pipe or pipe/fitting test piece assemblies by butt fusion
ISO 12176-1	Plastics pipes and fittings – Equipment for fusion-jointing polyethylene systems. Part 1: Butt fusion
ISO 12176-2	Plastics pipes and fittings – Equipment for fusion-jointing polyethylene systems. Part 2: Electrofusion
ISO 12176-3	Plastics pipes and fittings – Equipment for fusion-jointing polyethylene systems. Part 3: Operator's badge
ISO 12176-4	Plastics pipes and fittings – Equipment for fusion-jointing polyethylene systems. Part 4: Traceability coding
ISO 13953	Polyethylene (PE) pipes and fittings – Determination of the tensile strength and failure mode of test pieces from a butt-fused joint
ISO/PDTR 19480	Polyethylene pipes and fittings for the supply of gaseous fuels or water – Guidance for training and assessment of fusion operators.
ISO/DIS 21307	Plastics pipes and fittings – Butt Fusion Jointing Procedures for Polyethylene (PE) Pipes and Fittings used in the construction of gas and water distribution systems

DIN

DIN 16963-1	Pipe Joints and elements for High Density Polyethylene (HDPE) Pressure Pipelines. Types 1 and 2. Pipe Bends of Segmental Construction for Butt-welding. Dimensions
DIN 16963-2	Pipe joint assemblies and fittings for types 1 and 2 high-density polyethylene (HDPE) pressure pipes. Tees and branches produced by segment inserts and necking for butt welding. Dimensions
DIN 16963-3	Pipe Joints and elements for High Density Polyethylene (HDPE) Pressure Pipelines Types 1 and 2 – Pipe Bends for Butt-welding. Dimensions
DIN 16963-4	Pipe Joints and elements for High Density Polyethylene (HDPE) Pressure Pipes. Adaptors for fusion jointing, flanges and sealing elements. Dimensions
DIN 16963-5	Pipe fittings and joint assemblies for PE 80 and PE 100 polyethylene pressure pipes. General quality requirements and testing

UNI

UNI 10520	Saldatura di materie plastiche. Saldatura ad elementi termici per contatto. Saldatura di giunti testa a testa di tubi e/o raccordi in polietilene per il trasporto di gas combustibili, di acqua e di altri fluidi in pressione.
UNI 10565	Saldatrici da cantiere ad elementi termici per contatto impiegate per l'esecuzione di giunzioni testa/testa di tubi e/o raccordi in polietilene (PE), per il trasporto di gas combustibile, di acqua e di altri fluidi in pressione - Caratteristiche funzionali, di collaudo e di documentazione

Otros documentos de referencia

WIS – Water Industry spacifications. UK Water

WIS 4-32-17	Polyethylene pressure pipes for pressurised water supply and sewerage duties

EWF – European Welding Federation

EWF 581-01	Minimum requirements for the education, examination and certification of European plastics welders. (The education and training of plastics welders in preparation for the examinations defined in EN 13067).

SEDIGAS

RHMSEL-PE Rev 5 21.01.2008	Maquinaria y utillaje para la realización de uniones de tubos y accesorios de PE Reglamento de homologación de Equipos de electrofusión RHMSEL-PE Rev 5
RHMSTO-PE Rev 5 21.01.2008	Maquinaria y utillaje para la realización de uniones de tubos y accesorios de PE Reglamento de homologación de Máquinas de termofusión a tope RHMSTO-PE Rev 5
Revisión 24 Diciembre 2008	PROCEDIMIENTO GENERAL DE CERTIFICACION DE SOLDADORES DE POLIETILENO PG-01
WEB www.sedigas.es	Listado de soldadores certificados
Revisión 11 diciembre 2007	Especificaciones técnicas de SEDIGAS para la manipulación y soldadura de tuberías de PE para distribución de gas.

AseTUB

2009/19/MT	Manual de Instalación de sistemas de tuberías plásticas. Abastecimiento, riego y saneamiento.

10. Bibliografía

Non-destructive testing of fusion joints of polyethylene piping by real time ultrasonic imaging.
H. Shin, Y. Jang (INDE System Co, Ltd, South Korea)
J. Kwon (Korea Gas Safety Corporation, South Korea)
E. Lee (KNDT&I, Co Ltd, South Korea)

Welding of large diameter heavy wall polyolefine pipes and long term performance.
J. Hessel (Hessel Ing.-technik, Germany)
I. Lueghamer (AGRU Kunststofftehnik, Austria)
M. Tsunaga (Mesco, Japan)

Italgas experience on non destructive evaluation of PE pipe welding.
S. Ghia, D. Olivero, M. Piovano (Italgas S.p.A., Italy)

The Influence from pipe surface, weld beads and protective skins on long term failure times for PE butt fusion joints.
L. Lindqvist, G. Bergström (SP National Testing & Research Institute, Sweden)

Novel high resolution defect for thermoplastic butt welds in operating pipelines by ultrasonic TOFD.
B. Messer (Fluor Corp, Canada)

Welding of large diameter PE pipes – Art 399 03.04.1998 Ed. 1

Plastics pipes for water supply and sewage disposal, 4th edition.
Lars-Eric Janson

Jointing Technologies - Máquinas de soldar.
Urs Rudischhauser. Georg Fischer

Control y ensayos de uniones soldadas a tope en tubos de PE.
Rodolfo Vegas. Grupo PLOMYPLAS. Ávila 2006

Trazabilidad en las redes de polietileno de abastecimiento de agua. Control sobre equipos de soldadura, operarios y materiales.
Ramón García y Jaume Prats. ACUSTER. Ávila 2008

Jornada técnica. Tuberías de PE. Soldadura y Aplicaciones.
Barcelona 28.05.09 - Torre AGBAR

Tuberías de PE. Manual técnico.
AseTUB. 2008