

**III CONGRESO INTERNACIONAL
INGENIERIA ESTRUCTURAL, SISMICA Y PUENTES.**

**DESARROLLO DE UN PROCESO Y PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA
EN ESTRUCTURA METALICA TUBULAR DE GRANDES LUCES
PARA USO INDUSTRIAL – ASTM A53 GRADO B**

OVIEDO SARMIENTO, Ricardo¹

Palabras Clave: Soldabilidad, Pre calentamiento, WPS, PQR, ASTM A53.

RESUMEN

Los aceros ASTM A36 y ASTM A53 grado B, son los más utilizados en la industria de la construcción de estructuras metálicas. Estos aceros presentan muy buena ductilidad y resistencia adecuada para soportar los esfuerzos sísmicos a los cuales están sometidos las edificaciones sismorresistentes. En el acero tipo ASTM A53, los elementos aleantes le conceden características de disipación de energía para evitar daños importantes a las estructuras según lo recomienda la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente NTE-030.

En la fabricación de estructuras metálicas con estos tipos de materiales se emplean procesos de soldadura SMAW o GMAW. Se debe de evitar que con el procedimiento de soldadura los aceros aumentan a su vez el poder de temple y por consiguiente su tendencia al agrietamiento. Sin embargo es muy utilizado en las construcciones el proceso de arco manual con electrodos revestidos de alto hidrógeno, sin una secuencia adecuada y control previo a la calificación del soldador así como del proceso en particular, lo que no garantiza un trabajo con resultados satisfactorios.

1. INTRODUCCIÓN

Los aceros estructurales convencionales con medio porcentaje de carbono, han permitido su empleo en gran extensión en todos los programas de construcciones de edificaciones y puentes. El presente trabajo de investigación propone un mejoramiento del proceso constructivo de estructuras metálicas para naves industriales con vigas tubulares de acero.

¹ Especialista en Ingeniería de Soldadura, Fac. Ing. Mecánica, P. Universidad Católica del Perú.
Maestría en Ingeniería Estructural, Fac. Ing. Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
Socio de INGCALC S.A.C., E-mail: oviedos@ciplima.org.pe

La estructura diseñada es una nave de uso industrial que se encuentra ubicada en la ciudad de Lima, Perú. El área a construir es de 13000 m², donde se fabricaran tijerales tubulares de luces de 36.00 m y 3.00 m de peralte, apoyados en columnas circulares de concreto armado de 1.20 m de diámetro, con una altura de 12.00 m.

La naturaleza de estos materiales requiere que se tomen ciertas precauciones para minimizar los problemas asociados con la soldabilidad, más aún cuando el proceso de soldadura es el de arco eléctrico manual empleando electrodos revestidos de bajo hidrógeno, es así que debemos considerar los mínimos requerimientos para asegurar una unión soldada satisfactoria.

Los ensayos en laboratorio con los materiales correspondientes, tubos de acero ASTM A53 grado B, electrodo E6010, el entrenamiento y calificación de soldadores de acuerdo al Código AWS D1.1, seleccionando el procedimiento y aplicando los ensayos destructivos de tensión, doblado de cara y raíz, permitieron seleccionar el proceso y procedimiento que aplicado in situ, garantizan la calidad y confiabilidad de su uso.

2. ASPECTOS TEÓRICOS

2.1 Influencia de los principales elementos de adición

El Carbono.- Continúa siendo, como siempre, el elemento fundamental que determina la aptitud para la soldadura de los aceros. Interviene en los aceros ferríticos, ya aumentando el poder de temple del empalme en la zona de transformación (agrietabilidad de la capa subyacente), ya dando lugar a carburos bajo la acción de los tratamientos térmicos (aceros al cromo-molibdeno). En los aceros especiales soldables debe limitarse su contenido: rara vez sobrepasa el 0,25%. A partir de cierta proporción de este elemento, es preciso tomar precauciones especiales para reducir su experiencia perjudicial.

El Manganeso.- Elemento gammágeno, favorece el temple del acero, es preciso limitar su contenido, excepto en los casos especiales en que se busque obtener dureza o resistencia al desgaste. Rara vez pasa del 2,0% en los aceros soldables. El manganeso es un desoxidante enérgico y constituye un ingrediente de los electrodos o las varillas de aporte como elemento favorable por sus reacciones con el metal líquido.

La influencia del manganeso en la dureza de la zona de sobrecalentamiento de una soldadura por arco, y en consecuencia, en la soldabilidad metalúrgica. El poder de temple del acero crece muy rápidamente, incluso con pequeñas concentraciones de manganeso (de 1,25 a 1,50%) al aumentar el contenido de carbono. Desde el punto de vista de la soldabilidad metalúrgica, el manganeso posee un poder templante cuatro veces menor que el carbono. En general, es necesario precalentar los aceros que contienen bastante manganeso y carbono, cuando el equivalente de carbono excede del 0,45%. La relación Mn / C puede constituir así mismo, un criterio de calidad de acero y de su comportamiento en lo que respecta a la soldadura, si bien hasta ahora no se ha determinado cual ha de ser el valor de esta relación, podemos pensar que debe ser por lo menos igual a 4 para que el manganeso desempeñe plenamente su papel.

El Silicio.- Elemento alfégeno es un reductor enérgico del acero al igual que el manganeso. Su contenido, que aumenta la tendencia al agrietamiento durante la soldadura y varía según el tipo de acero, el modo de elaboración y las concentraciones de carbono y de manganeso, ha de limitarse en los aceros de construcción de 0,15 a 0,30%, si bien en el metal fundido de los electrodos puede admitirse hasta un 0,40 ó 0,50%.

El Níquel.- Elemento gammágeno, favorece el temple, como hacen también el carbono y el manganeso. En los aceros poco carburados ($C < 0,15\%$) y sin elementos de adición puede tolerarse del 3,0 al 5,0% de este elemento sin que la fragilidad del conjunto quede fuertemente afectada. En pequeña cantidad el níquel mejora la capacidad de deformación de la soldadura, afina el grano e interviene favorablemente en la temperatura de transición de fragilidad del acero.

El efecto del níquel sobre las características mecánicas es menos apreciable que el del manganeso; así para un 0,25% de carbono, un acero con 1,25% de manganeso es equivalente a uno con 2,5% de níquel ($HB = 300$)

El Cromo.- Elemento alfégeno, suele estar unido a otros elementos como el níquel y el molibdeno, en los aceros ligeramente aleados de construcción y entonces aumenta la templabilidad del acero. El cromo presenta otro inconveniente desde el punto de vista de la soldabilidad operatoria, y es que forma óxido de cromo, material refractario que es indispensable eliminar con un flujo decapante en el soldeo. Dado que el óxido de cromo se elimina más fácilmente con escoria básica, los electrodos con alma de acero al cromo deben poseer preferentemente revestimiento básico.

Este elemento de adición actúa claramente sobre la templabilidad de la zona de transformación durante el soldeo. En un acero con 0,50% de cromo y 0,15% de carbono, la dureza en la capa subyacente sobrepasa los 200 Brinell.

El Molibdeno.- Aumenta el poder de temple del acero, su contenido suele estar limitado al 0,25 ó 0,35% en los aceros con bastante carbono. Este elemento, incluso en pequeñas concentraciones, confiere a los aceros una mayor resistencia en caliente y la propiedad de resistir a la fluencia lenta, por lo cual presentan gran interés como elemento de adición en los aceros especiales ligeramente aleados. A partir del 0,50% de molibdeno el poder del temple del acero aumenta notablemente y su soldabilidad metalúrgica disminuye; por consiguiente se han de prever ciertas precauciones para el soldeo de los aceros que contengan este elemento.

El Vanadio.- Aumenta rápidamente el poder de temple del acero, pero su contenido debe ser muy limitado; rara vez excede del 0,1 al 0,2%.

El Aluminio.- Elemento alfégeno, es un poderoso reductor en concentraciones pequeñísimas. Calmando el acero con aluminio se reduce el efecto del nitrógeno en el envejecimiento (endurecimiento secundario) por formación de nitruro de aluminio. Se añade a ciertos aceros en concentraciones grandes (del 0,5 al 1,0%), con el objeto de hacerlo más resistentes a la oxidación en caliente, en estos casos, la operación de soldar resulta embarazosa por la formación de alúmina.

El Cobre.- Es soluble en el acero hasta 0,40%, se recomienda no pasar este límite en los aceros destinados a conjuntos soldados, ya que este elemento es un factor de agrietabilidad en estado libre, y por tanto, en concentraciones mayores del 0,50%. Se le atribuye la propiedad de otorgar a los aceros de construcción mayor resistencia a la corrosión por el agua.

El Fósforo.- Impureza que favorece el agrietamiento, especialmente en presencia de azufre.

2.2.- Templabilidad y Soldabilidad

Los aceros que tienen difícil soldabilidad son aquellos que tienen **TEMPLABILIDAD ALTA**. La templabilidad en un acero es la capacidad de generar **MARTENSITA**.

Los elementos de adición que conceden características elevadas a los aceros aumentan a la vez su poder de temple, es decir que por la presencia de estos elementos se inhibe la descomposición de la austenita en perlita durante tiempos relativamente largos y con ello se logra transformar la austenita en martensita aún a bajas velocidades de enfriamiento y, por consiguiente su poder de agrietamiento.

Bajo en concepto anterior y teniendo en cuenta los efectos de la soldadura en la ZAC, se puede comprobar que un gradiente de temperatura originada por la difusión del calor, va desde la solidificación del acero (1535 °C) hasta la temperatura ambiente.

Debido a que se alcanza la temperatura de temple en la zona próxima al cordón (900 °C- 700 °C), la cual se convierte en zona sensible y si se origina un enfriamiento brusco, esta zona será susceptible de formarse martensita, con lo que se originan zonas frágiles en estos aceros de difícil soldabilidad, agravándose este efecto cuando se trata de aceros de baja aleación.

Es necesario recordar que los aceros de alta templabilidad son los aceros al carbono, cuyo contenido de carbono son > 0,45. Estos aceros, si se calientan a T > 723 °C necesitan enfriamientos bruscos para obtener un temple severo. Pero también presentan alta templabilidad, los aceros de baja aleación cuando el CE es > 0,65%, teniendo en cuenta siempre además de CE, el %C debido a que este elemento es el principal formador de estructura martensítica.

Otro factor importante y muy significativo, es el Ciclo Térmico, su influencia en el charco de soldadura y en la ZAC determinará la microestructura y por lo tanto las propiedades. Este ciclo térmico depende del proceso de soldadura, de la energía introducida y de las dimensiones de la pieza a soldar.

La soldabilidad de los aceros es riesgosa en la medida que se desconozcan los parámetros del procedimiento como: Análisis químico, templabilidad, geometría de la pieza, embridamiento, etc. En la práctica, el soldador generalmente subsana el desconocimiento de estos parámetros precalentando, para evitar los problemas de rajaduras.

Uno de los métodos más rápidos para determinar la soldabilidad es conocer la templabilidad del acero, por lo que es necesario conocer el término CARBONO EQUIVALENTE.

2.3.- Carbono Equivalente

Este término fue desarrollado como una fórmula para normalizar la composición química del acero en un solo número que nos indica como la composición química podría afectar el endurecimiento o templabilidad del material, lo que nos serviría para seleccionar la temperatura de precalentamiento más adecuada. Hay muchas fórmulas, pero la más apropiada para nuestro trabajo es la indicada en AWS D1.1, con la cual obtenemos dos valores de CE, uno con las especificaciones de la norma ASTM A53, y la otra con el documento de la colada del fabricante.

$$CE = C + \left(\frac{Mn + Si}{6} \right) + \left(\frac{Cr + Mo + V}{5} \right) + \left(\frac{Ni + Cu}{15} \right) \quad (1)$$

ACERO	%C	%Mn	%Si	%Cr	%Mo	%V	%Ni	%Cu	%P	%S	CE
ASTM A53 GrB (Norma)	0.30	1.20	-	0.40	0.15	0.08	0.40	0.40	0.050	0.045	0.679
ASTM A53 GrB (Fabricante)	0.18	0.45	0.23	0.04	0.01	0.01	0.03	0.07	0.008	0.011	0.312

Tabla 1 Composición química y carbono equivalente

2.4 Clasificación de los aceros Según su Templabilidad

El Diagrama de B. A. Graville muestra la susceptibilidad de los aceros a la fisuración, relacionando el CE% / C%, que nos dará pautas para diseñar el procedimiento de soldadura donde debemos incluir: tratamiento térmico pre y pos soldadura, de manera que puedan evitar microestructuras susceptibles de fisuración. La sensibilidad a la fisura en este diagrama se atribuye sólo a la composición química del acero y a la predisposición de algunos aceros de formar martensita.

Por otra parte, combinada con el efecto de tensiones locales o de las tensiones desarrolladas por enbridado, la presencia del hidrógeno puede ser causa de roturas frágiles de las soldaduras y que por ello se debe emplear con estos aceros electrodos básicos.

Por consiguiente, cuando el poder de temple del acero especial aumenta se hacen intervenir dos factores:

- a. La temperatura de precalentamiento.
- b. El empleo de electrodos con pequeño contenido de hidrógeno, es decir, electrodos con revestimiento básico.

En el límite, cuando el acero es sumamente templable y forma estructuras frágiles en las zonas de transformación, son insuficientes los artificios antes mencionados y se hace menester considerar el problema desde un nuevo punto de vista.

Ingresando al diagrama de Graville, se obtiene con la norma la zona III, indicando un acero cuya microestructura resultante por efecto del calor es susceptible de figuración bajo cualquier condición. Utilizando la composición química del fabricante, se obtiene la zona II, indicando un acero de alta templabilidad y mediana susceptibilidad a la fisura. Para ambos casos el método de control de hidrogeno debe ser utilizado para determinar la temperatura de precalentamiento.

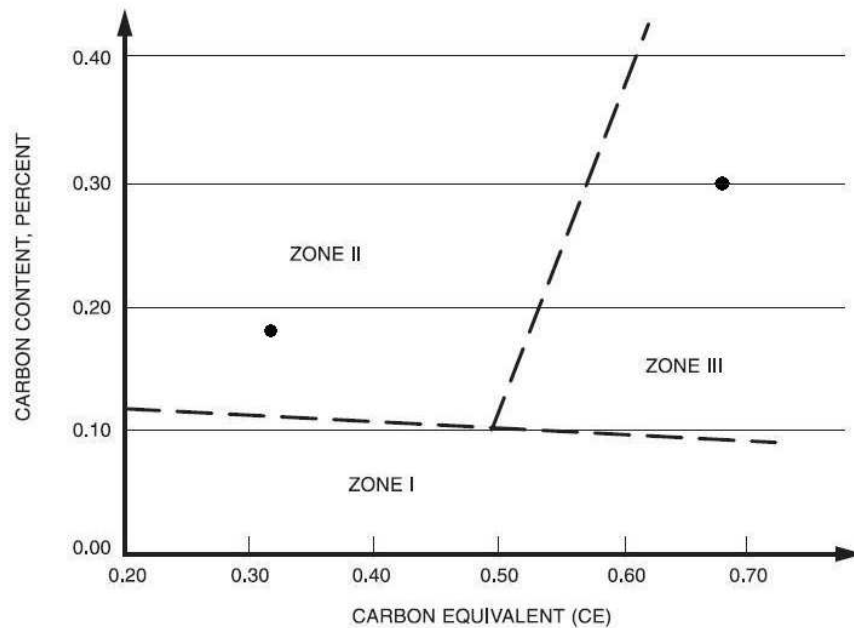


Figura 1 Clasificación de zonas de aceros

2.5 Temperatura de precalentamiento

La temperatura de precalentamiento se obtendrá del método del control de hidrogeno establecido en el AWS D1.1. En este método primero se obtiene el valor del parámetro de composición:

$$PCM = C + \left(\frac{Si}{30}\right) + \left(\frac{Mn + Cr + Cu}{20}\right) + \left(\frac{Ni}{60}\right) + \left(\frac{Mo}{15}\right) + \left(\frac{V}{10}\right) + 5B \quad (2)$$

Se procede a calcular el índice de susceptibilidad:

$$I_s = 12(PCM) + \text{Log}(H) \quad (3)$$

ACERO	PROCESO	PCM	INDICE	H (%)	ESPESOR (mm)	Temp. Preal. (BAJO)	Temp. Preal. (MEDIO)	Temp. Preal. (ALTO)
ASTM A53 GrB (Norma)	SMAW	0.42	5.73	5	8.18	150 °C	160 °C	160 °C
ASTM A53 GrB (Fabricante)	SMAW	0.21	3.21	5	8.18	20 °C	20 °C	20 °C

Tabla 2 Temperatura de precalentamiento

Con el procedimiento establecido en D1.1 y con la composición química de la Norma AWS A-53, se obtiene temperaturas de precalentamiento de 150 °C. Pero analizando con la composición química del fabricante del acero en el momento de la colada, se obtienen temperaturas de precalentamiento de 20 °C (temperatura de ambiente).

2.6 Distorsión de las Estructuras Soldadas

Durante el proceso de fabricación o de reparación de estructuras soldadas, se vive cara a cara con la distorsión de la soldadura, que afectan la integridad y comportamiento durante el servicio de la estructura. Por lo que es necesario predecir el tipo específico y cantidad de distorsión resultante de la operación de soldadura.

Durante la soldadura, hay ciclos de calentamientos y enfriamientos no uniformes en la soldadura y en el material base adyacente, lo que causa complejas tensiones térmicas, los esfuerzos resultantes de estas tensiones producen fuerzas internas que causan la contracción del material. Se presentan la: Contracción transversal en las juntas a tope, Cambio angular en la junta tope, Cambio angular en una junta en T y Distorsión longitudinal en la junta a filete.

Hay fórmulas empíricas de cuyo análisis se puede definir un método para controlar o minimizar la distorsión de una soldadura, pero que hay que adaptarlas a las condiciones reales del trabajo.

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

El objetivo principal era aquí idear un procedimiento de soldadura que permita obtener una combinación óptima de resistencia, ductilidad y tenacidad de la soldadura completa bajo las condiciones de soldadura por los procesos SMAW/GMAW

La microestructura del metal soldado y las propiedades mecánicas fueron hechas en una soldadura a tope depositado en un acero estructural ASTM A53, tubo de 8" y 8,18 mm de espesor, cuya composición química se encuentra en la Tabla 1. La soldadura fue efectuada con proceso arco eléctrico manual con electrodo con revestimiento celulósico del tipo E6010, y con proceso arco eléctrico con gas con alambre carbogil del tipo ER-70S6.

El precalentamiento y post tratamiento no es recomendado.

Sin esmerilado solo con escobillado manual del refuerzo de la soldadura.

Adicionalmente existen técnicas estándar, de acuerdo con la buena práctica de la soldadura, que mejoran la tenacidad de la junta, como:

- a. Mantener la entrada de calor lo más baja posible para producir cordones angostos con grano fino, que puede lograrse usando:
 - Un "cordón de arrastre" para todos los pases, excepto en el pase de la raíz, la técnica incluye la soldadura a lo largo de una línea recta a la máxima velocidad posible de avance, mientras que asegure una fusión completa.
 - Bajas corrientes de soldar, de manera que la relación profundidad/ancho de la soldadura es minimizada.
- b. Una secuencia de soldeo en que cada pase avanza lo más cerca posible a lo largo del borde de la soldadura de los cordones precedentes. De esta manera se funde la zona dura afectada por el calor, inherentemente susceptible a rajaduras, en el pie de la soldadura y temple (ablanda) la zona afectada por el calor adyacente al pie.
- c. Mantener el refuerzo de soldadura lo más bajo posible, de manera que los efectos geométricos de la concentración de tensión quedan minimizados.

Debe notarse que el diseño de la junta mostrada en la Figura 2, tiene cordones depositados al lado de la junta (pases 3 y 4). Estas soldaduras se realizaron con el arco dirigido al borde de la preparación original de la junta y su propósito era temple el pie interior de los pases finales de cubierta en los bordes.

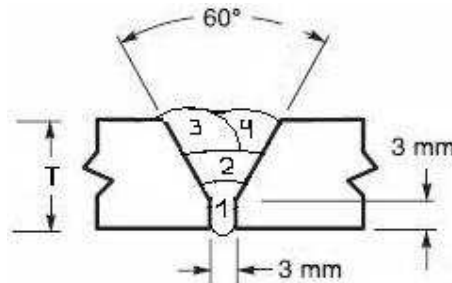


Figura 2 Diseño de la junta

3.1.- Evaluación de las propiedades de Consumibles para Soldadura.

El punto de partida para obtener óptimas uniones soldadas, consistía en encontrar el electrodo con una resistencia mayor al del metal base y con el mayor nivel de resistencia a rajaduras. Esto

comprendía la evaluación de electrodos candidatos indicados como adecuados para la soldadura del ASTM A53. Se tenían electrodos E6010 y E7018, se sabía que estos tipos de electrodos se usaban regularmente en la soldadura de acero ASTM A53 y ASTM A36 para aplicaciones de estructuras en Ingeniería Civil. El metal de aporte en estado soldado para la prueba fue obtenido de juntas a tope soldadas en simple V en tubería de 8" de diámetro y con un espesor de 8,18 mm soldando en la forma descrita anteriormente.

Luego de completar la soldadura, se verifico con inspección visual la unión soldada. A parte de trazas de fina porosidad no se encontró otros defectos y la tubería fue considerada como aceptable para la extracción de probetas de laboratorio. Los consumibles fueron principalmente evaluados mediante pruebas de laboratorio conducidas con el metal de soldadura en estado depositado. Especial atención se dio a aquellas propiedades consideradas como la resistencia a la cedencia y a la tracción del metal aportado.

4. RELACION DE PROBETAS

PROBETA	LARGO	ANCHO	ESPESOR	ENSAYO
Probeta N° 1	320 mm	32 mm	8.18 mm	Tracción
Probeta N° 2	320 mm	32 mm	8.18 mm	Tracción
Probeta N° 3	200 mm	40 mm	8.18 mm	Doblado Cara
Probeta N° 4	200 mm	40 mm <td 8.18 mm	Doblado Cara	
Probeta N° 5	200 mm	40 mm	8.18 mm	Doblado Raíz
Probeta N° 6	200 mm	40 mm	8.18 mm	Doblado Raíz

Tabla 3 Dimensiones de las probetas

5. DETALLE DE CORTE DE LAS PROBETAS

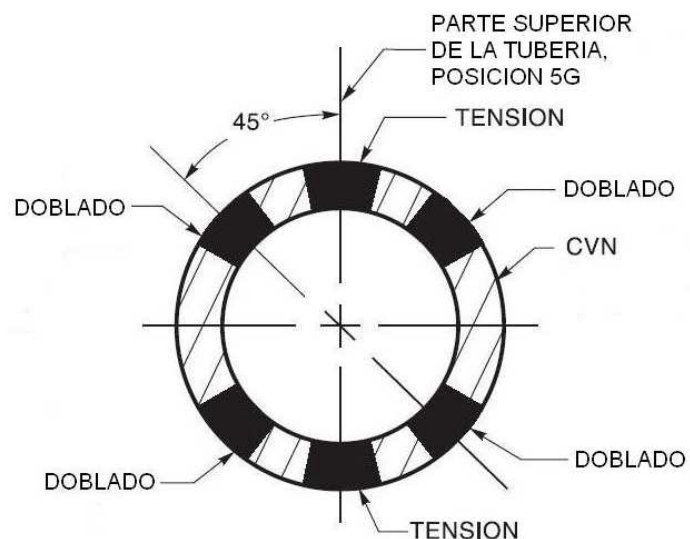


Figura 3 Ubicación de las zonas de extracción de las probetas

6. DETALLE DE LAS PROBETAS

6.1 PROBETAS PARA ENSAYO DE DOBLEZ

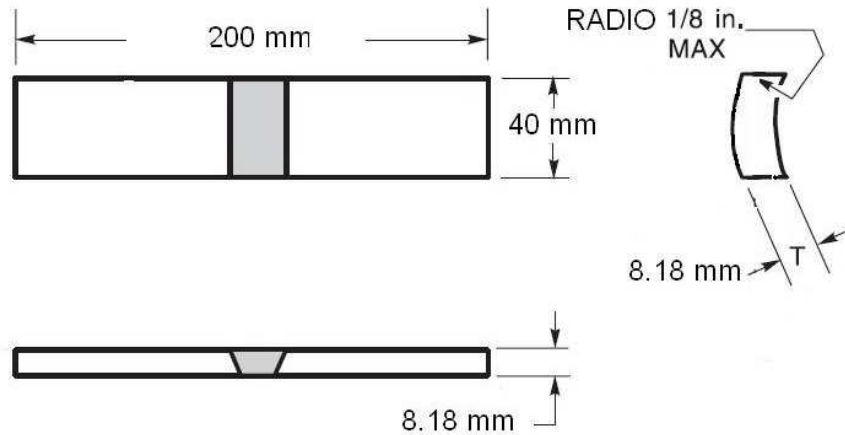


Figura 4 Dimensiones de la probeta de doblado

6.2 PROBETAS PARA ENSAYO DE TRACCION

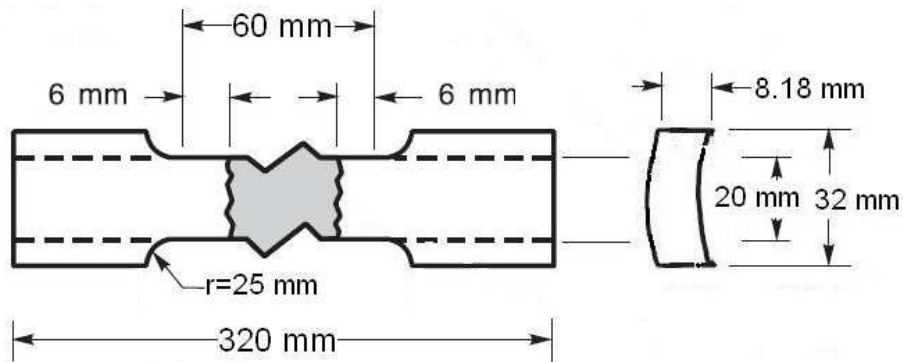


Figura 5 Dimensiones de la probeta de tracción

7. ENSAYOS REALIZADOS

Para determinar el número de dimensiones del cupón y de las probetas se ha utilizado como apoyo el AWS D1.1/D1.1:2006.

Ensayo de Tracción:

Las probetas deben de tener una resistencia a la tracción que no sea menor que la tracción mínima

especifica del metal base más débil (A53). Si la probeta rompe fuera de la soldadura o línea de fusión la prueba será aceptada según cumpla los requerimientos previendo que la resistencia no este por debajo del la mínima resistencia especifica del metal base. Se obtuvo una resistencia de 773 Mpa y de 784 Mpa respectivamente. Siendo la resistencia mínima de la resistencia a tracción del metal base ASTM A53 grado B, de 420 Mpa. La ruptura se dio en el metal base.

Ensayo de doblado de cara:

La soldadura y la ZAC de una probeta de doblado no deben presentar defectos después del ensayo. La probeta 03 de ensayo de doblado de cara presento 02 porosidades de 1 mm y La probeta 04 de ensayo de doblado de cara presento 02 porosidades de 1 mm. Ambas no presentaros fisuras. Se cumplió con los requerimientos del código AWS D1.1:2006.

Ensayo de doblado de raíz:

La soldadura y la ZAC de una probeta de doblado no deben presentar defectos después del ensayo. La probeta 05 de ensayo de doblado de raíz presento 01 porosidad de 1 mm y una fisura de 08 mm. La probeta 06 de ensayo de doblado de raíz presento 02 porosidades de 2 mm y una fisura de 12 mm. Ambas probetas no cumplieron con los requerimientos del código AWS D1.1:2006.

Examen Visual:

El examen visual de las secciones transversales del metal de soldadura deben mostrar fusión completa y estar libres de fisuras; la socavación no debe exceder de 1 mm, la concavidad de raíz no debe exceder de 2 mm y la concavidad de acabado no debe exceder de 3. La inspección visual del cordón de soldadura realizada antes, durante y después cumplió con los requerimientos de la norma AWS D1.1:2006.

8. CONCLUSIONES

- Se ha preparado un procedimiento de soldadura para tubos de acero A53 grado B, con el deseo de obtener una máxima resistencia bajo cargas de servicio. Se emplea una técnica de cordón longitudinal (de arrastre) con limitada entrada de calor, con excepción de los pases de raíz. El procedimiento cumplió con los requerimientos de la Norma AWS D1.1:2006, correspondientes a ensayos de tracción y de doblado de cara.
- El procedimiento no cumplió con los requerimientos de la Norma AWS D1.1:2006, correspondientes a ensayos de doblado de raíz. Se observo fisura excesiva producto de una falta de fusión, realizado con proceso SMAW y electrodo E6010 de 1/8”.
- El electrodo utilizado para la soldadura de ASTM A-53 mediante el proceso GMAW, ha revelado que un electrodo de calidad máxima ER-70S6 de 0.8 mm, es el tipo indicado para la presente aplicación. Con este electrodo, el metal en estado depositado satisface los valores del punto de referencia para la resistencia y ductilidad, a las que se someten este tipo de materiales cuando se emplean en construcciones.
- Los valores obtenidos de la composición química de la norma ASTM A53, son los valores máximos de porcentaje de aleantes. Se fabrican los aceros con valores menores y cumpliendo con las especificaciones de resistencia y ductilidad de la norma. Estos valores de colada nos brindan valores más adecuados para la elaboración del procedimiento de soldadura.

- Los defectos encontrados, se deben a un inadecuado control de calidad. El control de calidad representa una serie de acciones que deben ser consideradas como parte del proceso productivo, encaminadas a determinar un determinado grado de fiabilidad y a conseguir que los diferentes procesos industriales se apliquen de la forma más eficaz posible.

9. RECOMENDACIONES

- a. Para evitar la falta de fusión en el pase de raíz, se debería:
 - Disminuir la velocidad de avance de soldeo o
 - Disminuir la abertura de raíz y el talón de 3 mm (1/8") a 2.4 mm (3/32")
- b. Para controlar la velocidad de enfriamiento y evitar fisuras, se debe evitar las corrientes de aire durante la ejecución de la soldadura.
- c. Se recomienda utilizar como gas de protección en el proceso GMAW una mezcla 80% Ar + 20% CO₂, y no menores concentraciones del 80% Ar.

10. REFERENCIAS

1. **American Welding Society.**, "Structural Welding Code – Steel", An American National Standard, USA. 1. D1.1/D1.1M:2006.
2. **EXSA S.A. - OERLIKON**, "Manual de Soldadura y Catalogo de Productos", PERU, 2007.
3. **Fosca, Carlos**, "Introducción a la Metalurgia de la Soldadura", imprenta PUCP, Facultad de Ciencias e Ingeniería, PUCP. PERU, 2007.
4. **Hernandez Riesco, German.**, "Manual del Soldador", MADRID, 2006.
5. **Lazarte Gamero, Roberto**, "Estudio de la Soldabilidad de Barras Corrugadas de Acero ASTM A706 de 3/4", en Junta a Tope", 8vo Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica. PERU, 2007.
6. **Lean, Paúl**, "Control de Deformaciones por Soldadura", apuntes de clase de INGESOLD 2007. PERU, 2007.