

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA**



**“ELABORACION, CALIFICACION Y SELECCIÓN DE UN
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA MEDIANTE LOS
PROCESOS SMAW Y FCAW-G PARA UNIR ACERO ASTM
A36 Y ACERO T1 FORA 500 PARA LA REPARACION DE UN
CHUTE DE DESCARGA”**

INFORME DE COMPETENCIA PROFESIONAL

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO METALURGISTA**

PRESENTADO POR

MINCHOLA ROMERO, Guillermo Gerardo

LIMA - PERU

2010

DEDICATORIA

Dedico todo el esfuerzo realizado para desarrollar el presente trabajo, a Gerardo y Antonia, mis queridos padres, quienes me formaron como persona, educaron, apoyaron y motivaron para la realización de este trabajo. A Silvia y Mónica, mis hermanas por estar a mi lado siempre y darme su apoyo incondicional.

El presente trabajo también lo dedico de manera muy especial a Feliciano Avila mi querida abuelita que desde el cielo me ha guiado siempre mis pasos y me ha sabido llevar por buen camino.

INDICE

Introducción	11
Capítulo I: Generalidades	12
1.1 Resumen.....	12
1.2 Objetivos.....	13
Capítulo II: Descripción de los Materiales a Soldar	14
2.1 Acero T1 FORA 500.....	14
2.1.1 Composición química.....	14
2.1.2 Propiedades mecánicas.....	15
2.1.3 Corte.....	15
2.1.4 Mecanizado.....	15
2.1.5 Doblado.....	16
2.1.6 Soldadura.....	17
2.1.7 Pre calentamiento.....	18
2.2 Acero ASTM A36.....	19
2.2.1 Composición química.....	19
2.2.2 Propiedades mecánicas.....	19
Capítulo III: Fundamento Teórico	20
3.1 Procesos de soldadura.....	20
3.1.1 Soldeo por Arco con Electrodo Revestido – SMAW.....	20
3.1.2 Soldeo con Alambre Tubular – FCAW.....	22
3.2 Pre calentamiento de Uniones Soldadas.....	24
3.3 Ensayo de Tracción.....	28
3.4 Ensayo de Dobleces.....	34
3.5 Radiografía Industrial.....	36

Capítulo IV: Elaboración de los Procedimientos de Soldadura (WPS)

.....	41
4.1 Tipo de Soldadura.....	42
4.2 Preparación del WPS.....	42
4.2.1 Variables Esenciales.....	42
4.2.2 Selección del Material de Aporte.....	45
4.2.3 Temperatura de Pre calentamiento.....	46

Capitulo V: Calificación de los Procedimientos de Soldadura (PQR)

.....	54
5.1 Tipo de Ensayos de Calificación.....	54
5.1.1 Ensayos No Destructivos.....	54
5.1.2 Ensayos Destructivos.....	54
5.1.3 Esquema y Dimensiones de Probetas.....	55
5.2 Criterios de Aceptación de los Ensayos de Calificación.....	59
5.2.1 Criterios de aceptación para inspección visual.....	59
5.2.2 Criterios de aceptación para el ensayo de tracción.....	60
5.2.3 Criterios de aceptación para el ensayo de doblez.....	60
5.3 Dimensiones de las probetas a ensayar.....	61
5.3.1 Dimensiones de las probetas de tracción.....	62
5.3.2 Dimensiones de las probetas de doblez de lado.....	62
5.4 Resultados Obtenidos.....	62
5.4.1 Ensayos de Tracción.....	62
5.4.2 Ensayos de Doblez de lado.....	69
5.4.3 Ensayos de Radiografía Industrial.....	74
5.4.4 Elaboración del registro de calificación de procedimiento.....	77

Capítulo VI: Análisis de Costos de los Procesos de Soldadura.....82**Observaciones.....86****Conclusiones.....87**

Recomendaciones	88
Bibliografía	91
Anexos	92

INDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Descripción del proceso SMAW.....	21
Figura 2:	Descripción del proceso FCAW-S.....	23
Figura 3:	Descripción del proceso FCAW-G.....	24
Figura 4:	Desplazamiento de la curva de enfriamiento con el precalentamiento.....	26
Figura 5:	Curva Tensión - Deformación.....	31
Figura 6:	Maquina de tracción.....	33
Figura 7:	Doblado de cara.....	35
Figura 8:	Doblado de raíz.....	36
Figura 9:	Poder de penetración de las radiaciones.....	38
Figura 10:	Principio físico de la radiografía industrial.....	38
Figura 11:	Posición de soldeo 1G – CJP Groove.....	41
Figura 12:	Procedimiento de soldadura - proceso SMAW.....	52
Figura 13:	Procedimiento de soldadura – proceso FCAW-G.....	53
Figura 4.14:	Dimensiones de las probetas de tracción según el código AWS D1.1/D1.1M:2008.....	56
Figura 4.13:	Dimensiones de las probetas de doblez de lado según el código AWS D1.1/D1.1M:2008.....	57
Figura 4.15:	Dimensiones del mandril y punzón para el ensayo de doblez según el código AWS D1.1/D1.1M:2008.....	58
Figura 15:	Probeta de soldadura donde se indica las dimensiones y zonas de donde serán extraídos los especímenes a ensayar.....	61
Figura 16:	Dimensiones de las probetas de tracción a ser ensayadas.....	62
Figura 17:	Dimensiones de las probetas de doblez de lado a ser ensayadas.....	62
Figura 18:	Reporte del ensayo de tracción – proceso SMAW.....	63
Figura 19:	Reporte del ensayo de tracción – proceso FCAW-G.....	65
Figura 20:	Reporte del ensayo de doblez de lado – proceso SMAW.....	70
Figura 21:	Reporte del ensayo de doblez de lado – proceso FCAW-G.....	72

Figura 22: Reporte del ensayo de radiografía industrial – proceso SMAW.....	75
Figura 23: Reporte del ensayo de radiografía industrial – proceso FCAW-G.....	76
Figura 24: Registro de calificación de procedimiento de soldadura (PQR) – proceso SMAW.....	78
Figura 25: Registro de calificación de procedimiento de soldadura (PQR) – proceso FCAW-G.....	80

INDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Composición química del acero T1 FORA 500.....	14
Tabla 2:	Propiedades mecánicas del acero T1 FORA 500.....	15
Tabla 3:	Temperaturas de precalentamiento del acero T1 FORA 500 para el corte recomendadas por el fabricante.....	15
Tabla 4:	Recomendaciones para el taladrado del acero T1 FORA 500 según el fabricante.....	16
Tabla 5:	Recomendaciones para el doblado del acero T1 FORA 500 según el fabricante.....	16
Tabla 6:	Procesos de soldadura recomendados para soldar el acero T1 FORA 500 según el fabricante.....	18
Tabla 7:	Temperaturas de precalentamiento del acero T1 FORA 500 para el soldeo recomendadas por el fabricante.....	18
Tabla 8:	Composición química del acero ASTM A36.....	19
Tabla 9:	Propiedades mecánicas del acero ASTM A36.....	19
Tabla 10:	Calculo del aporte de calor neto durante el soldeo.....	47
Tabla 11:	Calculo de la máxima dureza en la ZAC.....	48
Tabla 12:	Relación entre la dureza máxima en la ZAC, el porcentaje de martensita presente y el riesgo de fisuración en frío en la ZAC.....	48
Tabla 13:	Calculo de la temperatura de precalentamiento.....	50
Tabla 14:	Temperaturas de precalentamiento y de interpases mínimas para diferentes condiciones según el código AWS D1.1/D1.1M:2008.....	51
Tabla 15:	Calculo del costo de los procesos de soldadura.....	85

INDICE DE FOTOGRAFIAS

Foto 1:	Probeta sometida al ensayo de tracción.....	67
Foto 2:	Rotura de la probeta de tracción.....	68
Foto 3:	Probetas de tracción – proceso SMAW.....	69
Foto 4:	Rotura dúctil de la probeta FCAW 2.....	69
Foto 5:	Probetas de doblez de lado ensayadas.....	74

INDICE DE ANEXOS

<p>Anexo 01: Tabla 4.1: Calificación de WPS – Posiciones de Soldadura de Producción Calificadas para Ensayos de Chapa, Tubo y Tubo de Sección Circular o Rectangular. Extraído del ANSI/AWS D1.1/D1.1M : 2008 Structural Welding Code – Steel. 93</p>	93
<p>Anexo 02: Tabla 4.2: Calificación de WPS – Soldaduras con Bisel CJP: Cantidad y Tipo de las Probetas de Ensayo. Rango de Espesor y Diámetro Calificado Extraído del ANSI/AWS D1.1/D1.1M: 2008 Structural Welding Code – Steel. 94</p>	94
<p>Anexo 03: Tabla 4.8: Aceros de la Tabla 3.1 y Aceros No Incluidos en la misma, Calificados por PQR. Extraído del ANSI/AWS D1.1/D1.1M: 2008 Structural Welding Code – Steel. 95</p>	95
<p>Anexo 04: Hoja Técnica del electrodo E 7018.....96</p>	96
<p>Anexo 05: Hoja Técnica del alambre tubular E 71T-1.....97</p>	97
<p>Anexo 06: Hoja Técnica del acero T1 FORA 500.....98</p>	98
<p>Anexo 07: Hoja Técnica del acero ASTM A36.....99</p>	99
<p>Anexo 08: Discontinuidades presentes en las uniones soldadas.....100</p>	100

INTRODUCCIÓN

Como se sabe en un “chute” (tolva) de descarga, la caída continua de material origina cargas de impacto y abrasión, cuya acción de rozamiento y desgaste, provoca la erosión del material de dicha tolva; lo cual plantea la necesidad de contar con un chute que soporte ambos requerimientos y además que sea económicamente eficiente. Para lo cual, se hace necesario diseñar un chute con dos materiales distintos: un material estructural que cumpla con las propiedades mecánicas exigidas por el diseño y un material de gran resistencia al desgaste por abrasión, impacto y deslizamiento que proteja únicamente las superficies sometidas a dichas cargas. Estos materiales son los aceros ASTM A36 y el T1 FORA 500, respectivamente.

El poco tiempo que se dispone para realizar mantenimiento y reparaciones en las operaciones mineras, hacen necesario la implementación y comparación de otros procesos de soldaduras para realizar los mantenimientos y reparaciones.

El proceso de soldadura FCAW-G, es un proceso de soldar más rápido y menos costoso además de tener un mejor rendimiento en sus materiales consumibles. Los ensayos de tracción, doblado, inspección radiográfica, inspección visual, determinarán los beneficios de los procesos de soldadura SMAW y FCAW-G, estos resultados proporcionan cual de los procesos es el más confiable.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 Resumen

El presente trabajo contiene el desarrollo secuencial de la elaboración, calificación y selección de un procedimiento de soldadura (WPS) para la unión de dos planchas de acero siendo su denominación ASTM A36 y T1 FORA 500, el cual se empleara para la reparación de un chute de descarga.

Se realizaron 02 probetas con procesos de soldeo diferentes. Para la primera probeta se utilizo el proceso de soldadura convencional SMAW o también llamado de electrodo revestido, y para la segunda probeta se utilizo un proceso más rápido y que tiene mejor rendimiento en sus materiales consumibles que es el proceso de soldadura FCAW-G o también denominado alambre tubular con gas protector.

Se elaboraron 02 procedimientos de soldadura, uno empleando el proceso SMAW y otro con el proceso FCAW-G, haciendo una comparación entre los dos procesos para elegir la opción más confiable y menos costosa para realizar la reparación del chute de descarga.

La elaboración y calificación de los dos procedimientos de soldadura se realizo en base al Código de Soldadura para Acero Estructural AWS D1.1/D1.1M:2008, a su vez se realizaron todos los ensayos Destructivos (Ensayo de Tracción, Doblez, etc.) y No Destructivos (Inspección Visual, Radiografía Industrial, Ultrasonido, etc.) que indica el código estructural AWS D1.1/D1.1M:2008 y que fueron necesarios para la calificación de los dos procedimientos de soldadura propuestos.

1.2 Objetivos

- Elaboración, calificación y análisis de los resultados del procedimiento de soldadura (WPS) de dos planchas cuyos materiales son ASTM A36 y T1 FORA 500 cuya aplicación han sido especificados anteriormente.
- Realizar ensayos, seleccionar materiales de aporte, tipos de junta, tratamientos de pre-calentamiento y/o post-soldadura y demás parámetros de soldeo, tomando como referencia el Código de Soldadura para Acero Estructural AWS D1.1/D1.1M:2008 para la calificación de los procedimientos de soldadura.
- En base a los resultados obtenidos, comparar y seleccionar el proceso y el procedimiento de soldadura más confiable y menos costoso para realizar la reparación del chute de descarga.

CAPITULO II

DESCRIPCION DE LOS MATERIALES A SOLDAR

2.1 Acero T1 Fora 500

Es un acero martensítico templado al agua que se usa en elementos de movimiento de tierra, minerales y materiales abrasivos, tales como tolvas de volquetes, cucharas de máquinas cargadoras, tornamesa para tracto-camiones, blindaje contra balas de armas de mano comerciales, elementos de máquinas trituradoras, chancadoras y prensas de chatarra, base para matrices de alto rendimiento. Además en todas las construcciones soldadas que requieran alta resistencia y una buena tenacidad a bajas temperaturas tales como tanques de presión.

Su principal característica es su gran resistencia al desgaste por abrasión, impacto y deslizamiento.

2.1.1 Composición Química

Composición Química (% Peso)							
C	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B
0.3	1.5	0.02	0.003	2	0.6	0.3	0.003

Tabla 1: Composición Química del acero T1 FORA 500

De acuerdo al %C presente en la composición química del acero T1 Fora 500 podemos indicar que es un acero de medio carbono, con tendencia a la fisuración en frío y de relativa difícil soldabilidad.

2.1.2 Propiedades Mecánicas

Dureza	Limite de Fluencia	Resistencia a la Tracción	Elongación
500 HB	1350 N/mm ²	1700 N/mm ²	10%
51.5 HRC	195 KSI	245 KSI	10%

Tabla 2: Propiedades Mecánicas del acero T1 FORA 500

2.1.3 Corte

Todos los procesos clásicos de corte térmico son compatibles con el acero T1 Fora 500 (gas, plasma, láser).

Placas de entre 8 a 10 mm (0,3 "a 0,4") de espesor no necesitan ser precalentadas si el corte térmico se realiza a una temperatura superior a 10 ° C (50 ° F). Cuando esto no es el caso, o cuando las placas tienen un espesor superior a 10 mm (0,4 "), se recomienda un precalentamiento entre 100 – 150 ° C (200-300 ° F).

También se puede utilizar el corte por chorro de agua.

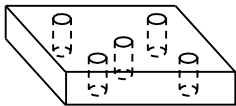
Espesor → Temperatura de Corte ↓	8-10 mm (0.3"-0.4")	> 10 mm (> 0.4")
≥ 10°C (50°F)	Sin Precalentar	Precalentar a 100-150°C (212-302°F)
< 10°C (50°F)	Precalentar a 100-150°C (212-302°F)	

Tabla 3: Temperaturas de precalentamiento para el corte del acero T1 FORA 500

2.1.4 Mecanizado

Taladrado y fresado se debe realizar con cobalto supercarburozados acero de alta velocidad tipo HSSCO, siempre que sea posible, utilizando un

lubricante de petróleo. Sin embargo, aceros clásicos de alta velocidad pueden ser utilizados. Los parámetros típicos de corte son:



Taladrado	$\phi = 10\text{mm}$ (0,4")	$\phi = 20\text{mm}$ (0,8")	$\phi = 30\text{mm}$ (1,2")
Velocidad de Corte (m/min) (ft/min)	4 – 6 13 – 20	4 – 6 13 – 20	4 – 6 13 – 20
Velocidad de Rotación (rev/min)	130	65	40

Tabla 4: Recomendaciones para el taladrado del acero T1 FORA 500

2.1.5 Doblado

Gracias a los bajos contenidos de azufre y fósforo, el acero T1 FORA 500 se puede doblar, siempre que se respeten las siguientes condiciones:

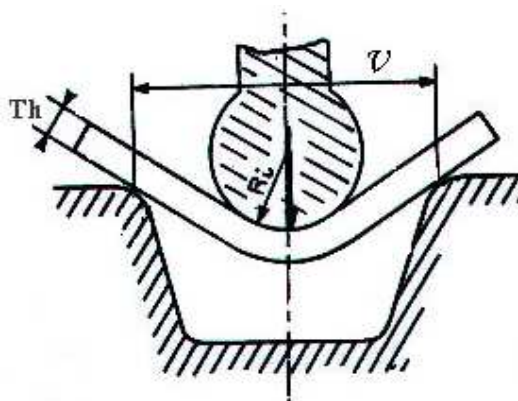
- Remoción de las crestas causadas por el corte por gas para eliminar las zonas endurecidas.
- Equipo suficientemente potente.
- Respeto del radio mínimo del punzón de doblado.

Para placas de espesor inferior a 20 mm (0,8 "), las condiciones de doblado se resumen en la siguiente tabla.

Para espesores mayores a 20 mm (0,8"), consultar con el fabricante.

	Perpendicular a la dirección de laminación	Paralelo a la dirección de laminación
Mínimo radio interno del punzón R_i	7 x Th	9 x Th
Mínima abertura de matriz V	18 x Th	22 x Th

Tabla 5: Recomendaciones para el doblado del acero T1 FORA 500



El acero T1 FORA 500 es adecuado para la conformación en caliente a una temperatura superior a 200 ° C (400 ° F).

2.1.6 Soldadura

T1 FORA 500 se pueden soldar usando los siguientes parámetros:

2.1.6.1 Preparación de la superficie a soldar

La superficie a soldar debe estar seca, limpia y libre de cualquier óxido, escamas, grasa o restos de pintura.

2.1.6.2 Proceso de soldadura

Cualquier método convencional de soldadura por fusión puede ser utilizado como la soldadura por arco sumergido (SAW), soldadura manual por arco (SMAW), Soldadura por arco con alambre tubular (FCAW), Soldadura por arco con alambre solido MIG, MAG (GMAW) y TIG (GTAW).

El aporte de calor (Heat Input) debe limitarse a 10-30 KJ/cm con una temperatura máxima entre los pases de soldadura de 200 °C (392 ° F).

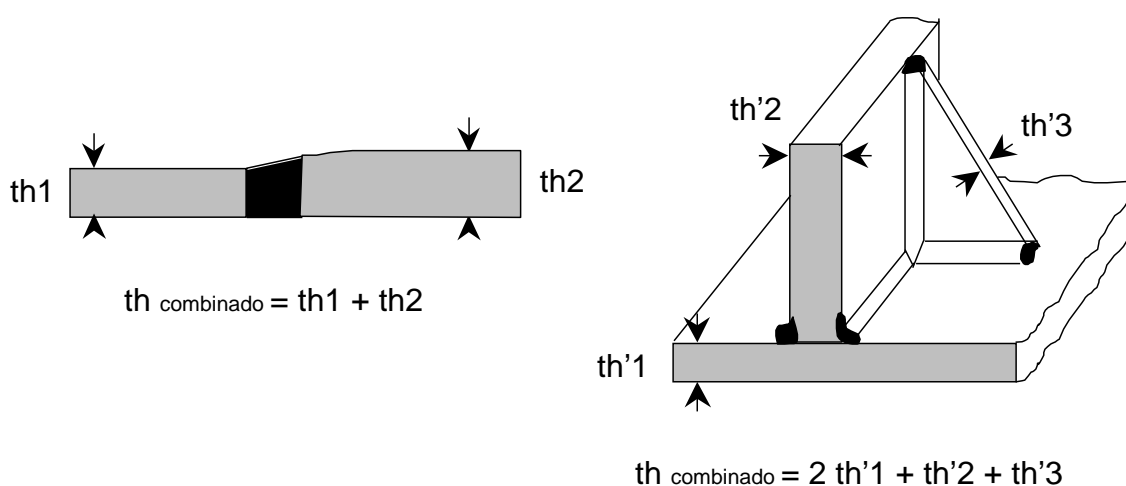
Usar procedimientos de soldeo de bajo hidrogeno.

Código o Norma	SMAW electrodo	GTAW MIG-MAG	FCAW (con gas de protección)	SAW Alambre / flux
AFNOR	NFA81-340 EY50 1niMo Bxxx1xTBH			NF A81-322 FP/x xx/xx xB x SA31 47 05 04
AWS	A5-5-81 E 70xx	A5-28 ER 70 S-x	A5-29 E 7xT1-x	A5-23 F7P4- Exxx-A2
DIN	DIN 1913 E51 55 Bx			

Tabla 6: Recomendaciones para el soldeo del acero T1 FORA 500

2.1.6.3 Precalentamiento

T1 FORA 500 se puede soldar sin ningún riesgo de fisuración y sin precalentamiento, hasta un espesor de chapa combinada de 10 mm (0,4"). Para mayores espesores, se recomiendan las siguientes condiciones.



PRECALENTAMIENTO			
	No	150°C (300°F)	200°C (400°F)
th_{combinado} :	< 10mm (0,4")	12-20mm (0,4-0,8)	>20mm (0,8")

Tabla 7: Temperaturas de Precalentamiento recomendadas para el soldeo del acero T1 FORA 500

2.2 Acero ASTM A36

Es el acero más usado para construcción de estructuras en el mundo, es fundamentalmente una aleación de hierro - carbono, con contenidos de carbono menores al 0,25 y otras pequeñas cantidades de minerales como manganeso, para mejorar su resistencia, y fósforo, azufre, sílice y vanadio para mejorar su soldabilidad y resistencia a la intemperie. Es un material usado para la construcción de estructuras, de gran resistencia, producido a partir de materiales muy abundantes en la naturaleza. Entre sus ventajas está la gran resistencia a tensión, compresión y el costo razonable.

Es el acero al carbono más común de los que existen para estructuras soldadas, son de buena resistencia y soldabilidad, siendo sus principales características las siguientes.

2.2.1 Composición Química

Composición Química (%Peso)				
%C	%Mn	%P	%S	%Si
0.25 máx.	0.8 – 1.2	0.04	0.05	0.4

Tabla 8: Composición Química del acero ASTM A36

De acuerdo a la composición química establecida podemos indicar que es un acero de bajo carbono con características óptimas de soldabilidad.

2.2.2 Propiedades Mecánicas

Norma ASTM	Limite de Fluencia *	Resistencia a la Tracción	Elongación* en 50 mm
A36	36 KSI	58 - 80 KSI	23%
	250 MPa	400 - 550 MPa	23%

Tabla 9: Propiedades Mecánicas del acero ASTM A36

* Valores mínimos establecidos por la norma ASTM

CAPITULO III

FUNDAMENTO TEORICO

3.1 Procesos de Soldadura

Los procesos empleados para realizar el procedimiento son:

3.1.1 Soldeo por Arco con Electrodo Revestido - SMAW

Es un proceso de soldadura en el que la fusión del metal se produce gracias al calor generado por un arco eléctrico establecido entre el extremo de un electrodo revestido y el metal base de una unión a soldar.

El material de aportación se obtiene por la fusión del electrodo en forma de pequeñas gotas (Ver figura 01). La protección se obtiene por la descomposición del revestimiento en forma de gases y en forma de escoria líquida que flota sobre el baño de fusión y posteriormente solidifica.

La ANSI/AWS A3.0 lo denomina como: **SMAW** (Shielded Metal Arc Welding).

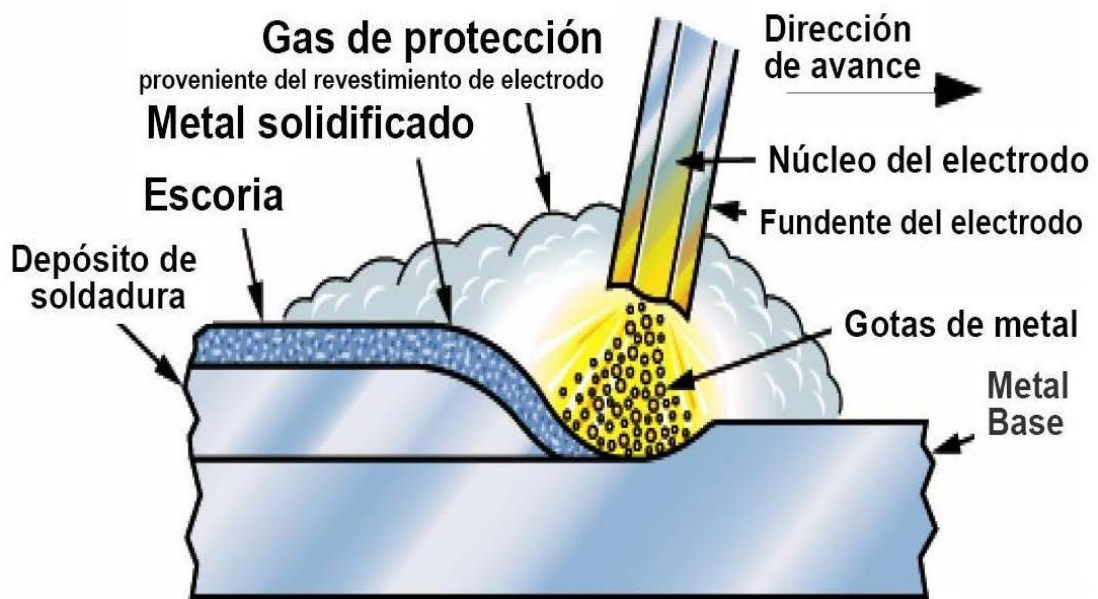


Figura 1: Descripción del proceso SMAW

3.1.1.1 Principios del Proceso

- Establecimiento de un circuito eléctrico cerrado.
- Iniciación con el cebado del arco.
- Generación de calor por efecto Joule.
- Emisión de electrones.
- Generación de una atmósfera ionizada (permite el paso de la Corriente a través del aire).
- Desprendimiento de gotas de metal fundido sobre el metal base fundido, formando el baño de fusión.
- Formación del cordón de soldadura.

3.1.1.2 Ventajas del Proceso

- Fuente de poder sencilla, económica y portátil.
- Menos sensible al viento.
- No es necesario protección adicional (gases auxiliares o fundentes granulares).
- Se puede emplear en cualquier posición.
- Es aplicable en cualquier espesor (>1,60 mm).

- Es aplicable a la mayoría de los metales y aleaciones de uso industrial.
- Se puede emplear en zonas de acceso limitado.

3.1.1.3 Desventajas del Proceso

- Tasa de deposición baja, por tiempos muertos en retirar la escoria y cambio de electrodo.
- No es aplicable en metales de bajo punto de fusión (Pb,Ag), ni a los metales sensibles a la oxidación.
- Es un proceso manual (requiere gran habilidad del soldador).
- Para espesores mayores a 38mm el proceso es sumamente improductivo.
- Bajo rendimiento

3.1.2 Soldeo con Alambre Tubular - FCAW

En el proceso de soldeo por arco con electrodo tubular la soldadura se consigue con el calor de un arco eléctrico establecido entre un alambre-electrodo consumible continuo y la pieza que se suelda. La protección se obtiene del fundente contenido dentro de un alambre tubular pudiéndose utilizar con o sin gas de protección adicional.

El alambre tubular es un alambre hueco y relleno de fundente el cual, al fundirse por la acción del arco eléctrico, deposita un metal fundido protegido con una fina capa de escoria.

Dentro de este proceso de soldeo hay dos variantes:

- **Autoprotegido** (Ver figura 2), que protege el baño de fusión gracias a la descomposición y vaporización del fundente.
- **Con protección de gas** (Ver figura 3), que suele ser CO₂ o mezclas de CO₂ y argón, que utiliza gas de protección además de la acción protectora del fundente.

Con ambos métodos el electrodo forma una escoria que cubre y protege el metal de soldadura hasta que solidifica y, en ambos casos, la

protección del arco puede soportar el viento y agentes atmosféricos en mayor medida que los procesos con protección gaseosa (TIG, MIG/MAG).

La ANSI/AWS A3.0 denomina al soldeo por arco con alambre tubular:

Con protección gaseosa: FCAW-G (gas shielded flux cored arc welding)

Sin protección gaseosa: FCAW-S (self shielded flux cored arc welding)

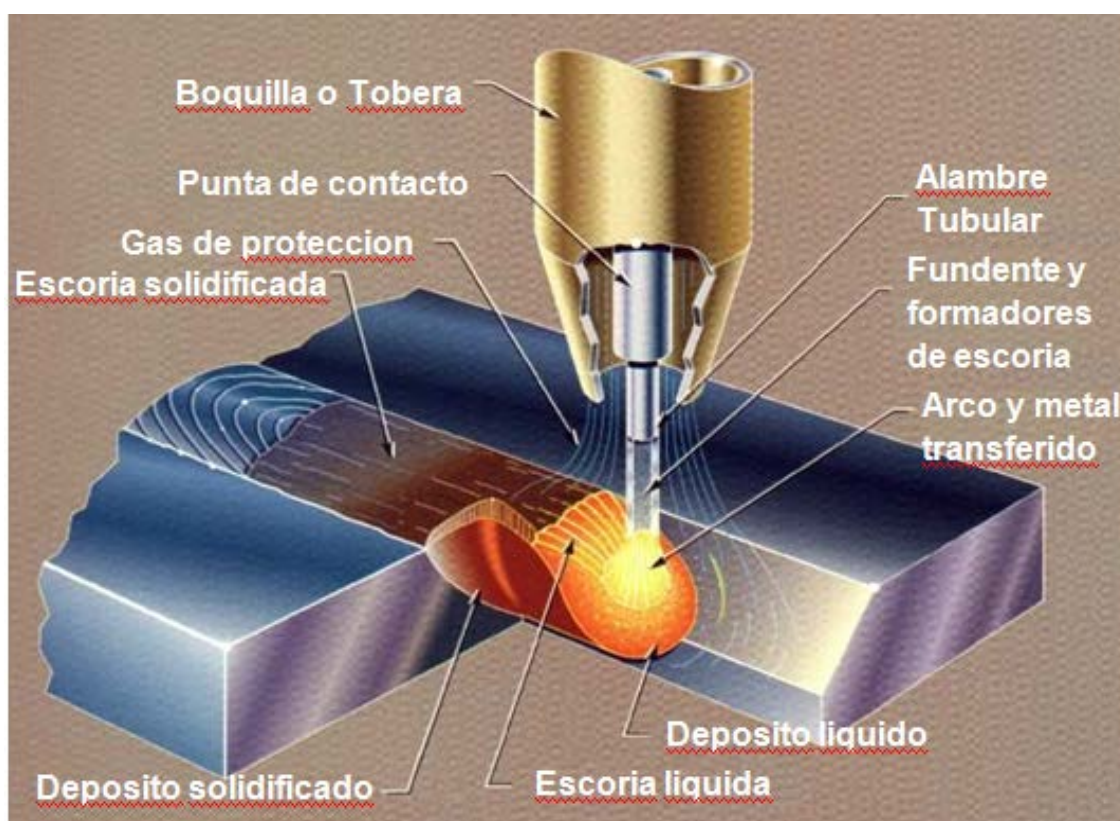


Figura 2: Descripción del proceso FCAW-S

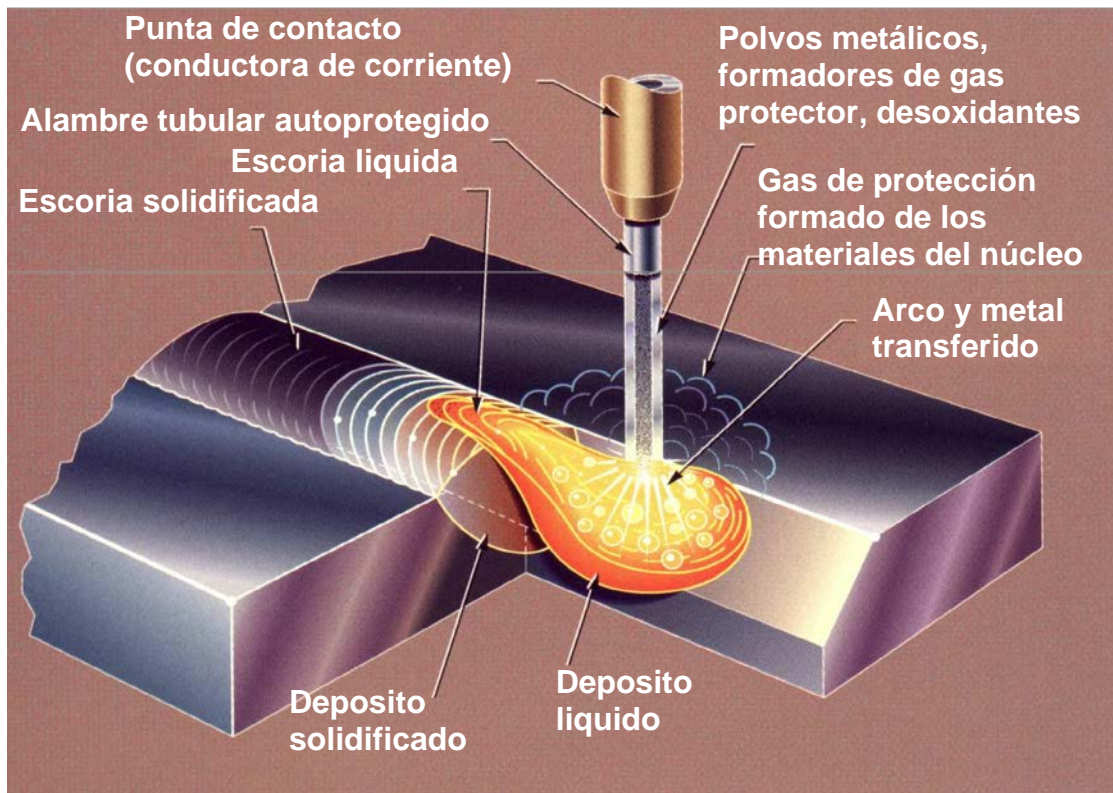


Figura 3: Descripción del proceso FCAW-G

3.2 Pre calentamiento de Uniones Soldadas

Un factor que controla la microestructura de la zona afectada por calor (ZAC) y del metal de soldadura, es la velocidad de enfriamiento; esta velocidad depende de los espesores del material base, la geometría de la unión, el calor aportado y la temperatura de pre calentamiento. La velocidad de enfriamiento puede entonces ser usada, dentro de cierto rango, para prevenir la formación de microestructuras peligrosas en la ZAC y en la soldadura.

Por efecto de la velocidad de enfriamiento pueden originarse en el acero estructuras metalúrgicas duras, y en casos extremos, provocar una transformación directa de austenita a martensita.

Si calentamos el material previamente a la soldadura disminuimos el desnivel térmico desde la temperatura de fusión del acero desplazando la curva de enfriamiento hacia la derecha del diagrama Temperatura - Tiempo - Transformación (TTT), como muestra la figura 04. De este modo se favorecen las transformaciones metalúrgicas a estructuras más

blandas que resultan menos frágiles y propensas a fisuración en frío.

La temperatura de precalentamiento tiene como principal función disminuir la velocidad de enfriamiento del conjunto soldado. Es la mínima temperatura que debe ser alcanzada en todo el espesor y en una zona suficientemente ancha a ambos lados de la junta del material base antes de que comience el proceso de soldadura y que normalmente debe mantenerse entre las diversas pasadas en caso de soldadura de pasadas múltiples. Se aplica localmente por resistencia eléctrica o llama de gas y su medición se realiza, siempre que sea posible, en la cara opuesta a la que se está aplicando la fuente de calor, por medio de termocuplas o lápices termoindicadores.

La temperatura de precalentamiento debe ser balanceada con el calor aportado (heat input) durante la operación de soldadura, de acuerdo al tipo de acero y en función de las propiedades requeridas para la junta.

La temperatura de precalentamiento produce también un efecto importante en la velocidad de difusión del Hidrógeno, consigue microestructuras con menores valores de dureza en la ZAC y en el metal de soldadura y previene la formación de martensita en aceros de alto carbono. Además, tiene el efecto secundario de reducir las tensiones residuales disminuyendo los gradientes térmicos asociados a la soldadura.

El precalentamiento incluye la temperatura entre pasadas cuando se trata de soldadura en multipasadas y cuando el calor generado durante la soldadura no es suficiente para mantener la temperatura de precalentamiento entre pasadas sucesivas. En general, la temperatura de precalentamiento que es requerida en soldadura de multipasadas es menor que para soldadura de simple pasada. En soldadura de multipasadas el calor de la segunda pasada disminuye la dureza de la ZAC que generó la primera pasada y acelera la migración de Hidrógeno. Esto reduce notablemente la posibilidad de fisuración en frío en aceros soldados. La pasada en caliente realizada inmediatamente luego de la pasada de raíz es muy efectiva para prevenir

la fisuración en frío, dado que puede reducir la concentración de Hidrógeno en aproximadamente un 30 a 40% comparando con los casos de pasada de raíz solamente. Aquella hace que la temperatura de precalentamiento necesaria se pueda disminuir en 30 a 50 °C aproximadamente. La pasada en caliente, además, puede disminuir la dureza en la ZAC.

En la práctica generalmente, las temperaturas de precalentamiento pueden variar desde temperatura ambiente hasta los 450 °C; en casos específicos puede ser aún mayor. Hay que evitar todo precalentamiento innecesario, ya que consume tiempo y energía. Las temperaturas de precalentamiento excesivas no justifican el costo y podrían degradar las propiedades y la calidad de la unión. La incomodidad del soldador aumenta si el precalentamiento es muy alto, y la calidad del trabajo tiende a ser menor. Las temperaturas de precalentamiento que se usen se basarán en los requisitos de soldadura prescritos, una evaluación técnica competente o los resultados de ensayos o pruebas.

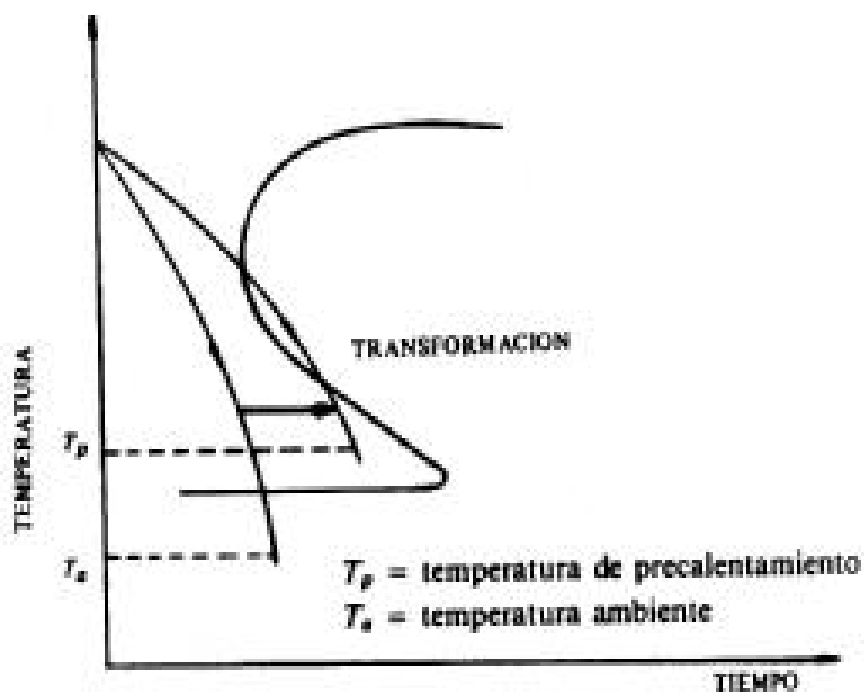


Figura 4: Desplazamiento de la curva de enfriamiento con el precalentamiento.

3.2.1 Métodos para Calcular la Temperatura de Pre calentamiento

Existen numerosos métodos propuestos para determinar o estimar la necesidad de precalentar en el proceso de soldadura de aceros. Estos métodos consideran algunos o todos de los factores que influyen en la fisuración en frío: composición química del acero, difusión de Hidrógeno, calor aportado, espesor del metal base, tensiones residuales en la soldadura y restricción de la junta. Sin embargo, hay una considerable diferencia en la valoración de la importancia de estos factores entre los distintos métodos. Por ejemplo, el efecto de la composición química difiere de un método a otro en la evaluación de la importancia de cada elemento de aleación, y por lo tanto se obtienen distintos carbonos equivalentes.

Algunos de los métodos existentes para el cálculo de la temperatura de precalentamiento son los siguientes:

- a) British Standard bs 5135-74.
- b) Nomograma de Coe.
- c) Criterio de Düren.
- d) Criterio de Ito y Bessyo.
- e) Criterio propuesto por Suzuki.
- f) Criterio de Suzuki y Yurioka.
- g) Método de Seferian.
- h) Método del Instituto Internacional de Soldadura.
- i) Método del Control de la Temperatura.
- j) ANSI/AWS D1.1 - Structural Welding Code-Steel.
- k) Método de la Carta.
- l) Fórmulas Propuestas.

3.3 Ensayo de Tracción

El ensayo de tracción de un material consiste en someter a una probeta normalizada a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la probeta. Este ensayo mide la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente. Las velocidades de deformación en un ensayo de tensión suelen ser muy pequeñas ($\dot{\epsilon}=10^{-4}$ a 10^{-2} s⁻¹).

En un ensayo de tracción pueden determinarse diversas características de los materiales elásticos:

- Módulo de elasticidad o Módulo de Young, que cuantifica la proporcionalidad anterior.
- Coeficiente de Poisson, que cuantifica la razón entre el alargamiento longitudinal y la acortamiento de las longitudes transversales a la dirección de la fuerza.
- Límite de proporcionalidad valor de la tensión por debajo de la cual el alargamiento es proporcional a la carga aplicada.
- Límite de fluencia o límite elástico aparente: valor de la tensión que soporta la probeta en el momento de producirse el fenómeno de la cedencia o fluencia. Este fenómeno tiene lugar en la zona de transición entre las deformaciones elásticas y plásticas y se caracteriza por un rápido incremento de la deformación sin aumento apreciable de la carga aplicada.
- Límite elástico (límite elástico convencional o práctico): valor de la tensión a la que se produce un alargamiento prefijado de antemano (0,2%, 0,1%, etc.) en función del extensómetro empleado.
- Carga de rotura o resistencia a la tracción: carga máxima resistida por la probeta dividida por la sección inicial de la probeta.

- Alargamiento de rotura: incremento de longitud que ha sufrido la probeta. Se mide entre dos puntos cuya posición está normalizada y se expresa en tanto por ciento.
- Estricción: es la reducción de la sección que se produce en la zona de la rotura.

Normalmente, el límite de proporcionalidad no suele determinarse ya que carece de interés para los cálculos. Tampoco se calcula el Módulo de Young, ya que éste es característico del material; así, todos los aceros tienen el mismo módulo de elasticidad aunque sus resistencias puedan ser muy diferentes.

3.3.1 Curva Tensión - Deformación

En el ensayo se mide la deformación (alargamiento) de la probeta entre dos puntos fijos de la misma a medida que se incrementa la carga aplicada, y se representa gráficamente en función de la tensión (carga aplicada dividida por la sección de la probeta). En general, la curva tensión-deformación (Ver figura 5) así obtenida presenta cuatro zonas diferenciadas:

1. **Deformaciones elásticas:** en esta zona las deformaciones se reparten a lo largo de la probeta, son de pequeña magnitud y, si se retirara la carga aplicada, la probeta recuperaría su forma inicial. El coeficiente de proporcionalidad entre la tensión y la deformación se denomina módulo de elasticidad o de Young y es característico del material. Así, todos los aceros tienen el mismo módulo de elasticidad aunque sus resistencias puedan ser muy diferentes. La tensión más elevada que se alcanza en esta región se denomina límite de fluencia y es el que marca la aparición de este fenómeno. Pueden existir dos zonas de deformación elástica, la primera recta y la segunda curva, siendo el límite de proporcionalidad el valor de la tensión que marca la transición entre ambas. Generalmente, este último valor carece de interés práctico y se define entonces un límite elástico (convencional o

práctico) como aquél para el que se produce un alargamiento prefijado de antemano (0,2%, 0,1%, etc.). Se obtiene trazando una recta paralela al tramo proporcional (recto) con una deformación inicial igual a la convencional.

- 2. Fluencia o cedencia:** Es la deformación brusca de la probeta sin incremento de la carga aplicada. El fenómeno de fluencia se da cuando las impurezas o los elementos de aleación bloquean las dislocaciones de la red cristalina impidiendo su deslizamiento, mecanismo mediante el cual el material se deforma plásticamente. Alcanzado el límite de fluencia se logra liberar las dislocaciones produciéndose la deformación bruscamente. La deformación en este caso también se distribuye uniformemente a lo largo de la probeta pero concentrándose en las zonas en las que se ha logrado liberar las dislocaciones (bandas de Luders). No todos los materiales presentan este fenómeno, en cuyo caso la transición entre la deformación elástica y plástica del material no se aprecia de forma clara.
- 3. Deformaciones plásticas:** Si se retira la carga aplicada en dicha zona, la probeta recupera sólo parcialmente su forma quedando deformada permanentemente. Las deformaciones en esta región son más acusadas que en la zona elástica.
- 4. Estricción:** Llegado un punto del ensayo, las deformaciones se concentran en la parte central de la probeta apreciándose una acusada reducción de la sección de la probeta, momento a partir del cual las deformaciones continuarán acumulándose hasta la rotura de la probeta por esa zona. La estricción es la responsable del descenso de la curva tensión-deformación; realmente las tensiones no disminuyen hasta la rotura, sucede que lo que se representa es el cociente de la fuerza aplicada (creciente) entre la sección inicial y cuando se produce la estricción la sección disminuye, efecto que no se tiene en cuenta en la representación gráfica. Los materiales frágiles no sufren estricción ni deformaciones plásticas significativas, rompiéndose la probeta de forma brusca. Terminado el ensayo se

determina la carga de rotura, carga última o resistencia a la tracción: la máxima resistida por la probeta dividida por su sección inicial, el alargamiento en (%) y la estricción en la zona de la rotura.

Otras características que pueden caracterizarse mediante el ensayo de tracción son la resiliencia y la tenacidad, que son, respectivamente, la energía elástica y total absorbida y que vienen representadas por el área comprendida bajo la curva tensión-deformación hasta el límite elástico en el primer caso y hasta la rotura en el segundo.

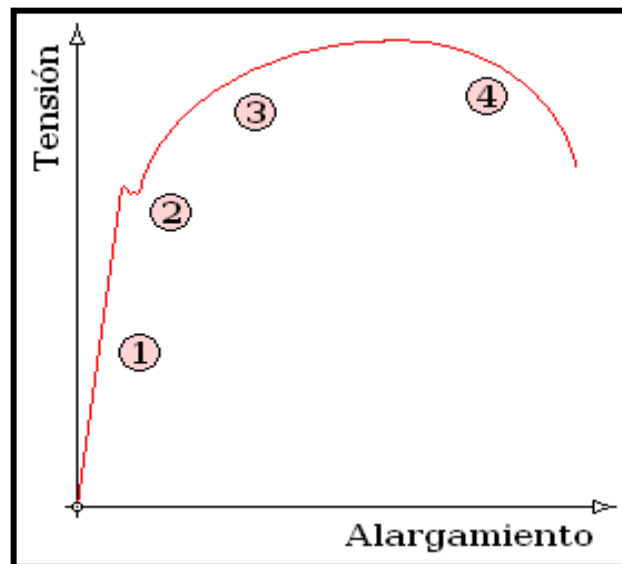


Figura 5: Curva Tensión - Deformación

3.3.2 Ensayo de Tracción de Soldaduras (Tensile Test)

3.3.2.1 Propósito

Los ensayos de tracción son usados para determinar la resistencia a la tracción de las juntas soldadas "de canal" a temperatura ambiente.

Cuando se especifique este ensayo para la calificación de una estructura soldada debe acompañar la siguiente información:

- El tipo específico y número de probetas requeridas.
- Identificación / especificación del metal base.

- Identificación / especificación del metal de aporte.
- Los valores de las propiedades anticipadamente y si son requerimientos máximos o mínimos.
- Ubicación y orientación de las probetas.
- Formato de reporte cuando sean requeridos.
- Tratamiento térmico o mecánico post soldadura, cuando sea requerido.

Este ensayo (estandarizado) se puede aplicar, cuando sea especificado a:

- Calificación de materiales y procedimientos de soldadura donde propiedades mecánicas especificadas son requeridas.
- Como Información, base para aceptación y control de calidad de fabricación cuando son solicitadas determinadas propiedades mecánicas.
- Investigación y desarrollo.

3.3.2.2 Datos

Los ensayos de tracción proveen información de la resistencia, ductilidad, diseño de junta de las juntas soldadas bajo esfuerzos de tracción axiales. Los datos obtenidos pueden incluir:

- (1) Resistencia a la tracción.
- (2) Resistencia a la fluencia.
- (3) Punto de fluencia (si ocurre).
- (4) Porcentaje de alargamiento.
- (5) Porcentaje de reducción de área.
- (6) Diagrama Esfuerzo - Deformación.
- (7) Ubicación y modo de la fractura.

Los datos cuantitativos obtenidos pueden ser analizados para ser usados en

el diseño y análisis de estructuras soldadas. La superficie de fractura puede proveer información de la presencia y efecto de discontinuidades como fusión incompleta, penetración incompleta, porosidad, inclusiones y fisuras.

3.3.2.3 Maquinas de Ensayo

Los ensayos serán realizados en una maquina de ensayo en conformidad con los requerimientos de la norma ASTM E8. La maquina debe estar calibrada de acuerdo con ASTM E4.

3.3.2.4 Probetas

Las probetas deben ser especificadas por el código de aplicación, especificación o documento de contrato. Se recomienda que las probetas tengan la sección transversal más grande dentro de la capacidad del equipo de ensayo.

3.3.2.5 Procedimiento

El procedimiento de ensayo de las probetas soldadas debe ser como se especifica en la norma ASTM E8 y específicamente la ASTM A370 para probetas y soldaduras de acero.

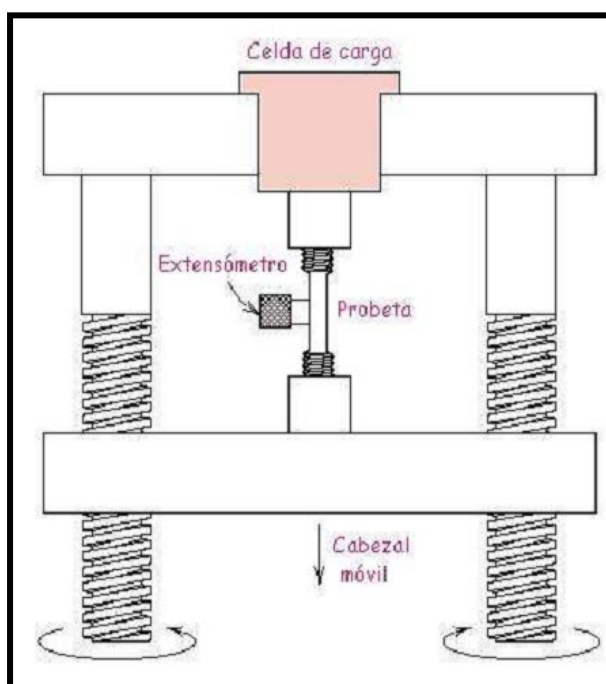


Figura 6: Maquina de Tracción

3.4 Ensayo de Doble de Soldaduras (Bend Test)

3.4.1 Propósito

El propósito de un ensayo de doblado aplicado a soldadura, es evaluar la presencia de zonas fragilizadas en la junta soldada (cordón de soldadura y ZAC).

La característica que se evalúa en un ensayo de doblado es la probable presencia de signos de fragilidad en el material ensayado (fisuración en la cara externa de la probeta, la misma que soporta esfuerzos de tracción).

La ductilidad de una junta soldada, como evidenciada por su habilidad para resistir desgarramiento y la presencia de discontinuidades en la superficie a tensión, es determinada en un ensayo de doblez guiado.

Ensayos de doblez en revestimientos soldados son usados para detectar fusión incompleta, desgarramiento, delaminación, macrodiscontinuidades y el efecto de la configuración de pases.

3.4.2 Manejo de la Probeta

La probeta debe ser retirada del equipo y la superficie a tracción (metal de soldadura y ZAC) examinada visualmente para detectar desgarramientos u otros defectos abiertos y todo tipo de defecto será registrado (cantidad, tamaño y localización). Cuando ocurre la fractura de la probeta antes de completar 180 de doblez, el ángulo en el cual ocurre la fractura debe ser registrado (de ser posible). La soldadura y la zona afectada por el calor debe estar centrada completamente dentro de la porción doblada de la probeta después del ensayo.

3.4.3 Probetas

Las probetas deben ser preparadas cortando la soldadura y el metal base de forma que obtengamos una sección transversal rectangular. En el caso de doblez transversal estas pueden ser de cara, raíz o lado, en el doblez longitudinal únicamente cara o raíz (dependiendo de la superficie cargada a tensión).

3.4.4 Procedimiento

A menos que se especifique otra cosa, la probeta debe ser ensayada a temperatura ambiental y la deformación debe ocurrir en un periodo no menor a 15 segundos ni mayor a 2 minutos. Si la soldadura y la zona afectada por el calor (ZAC) no están dentro de la porción curvada de la probeta, esta debe ser descartada y otra probeta preparada para ser ensayada.

3.4.5 Cálculos

$$e = (t \times 100) / (2 \times A + t)$$

Donde:

e = Porcentaje de elongación de la fibra exterior.

t = Espesor.

A = Radio de curvatura en la superficie interior del doblado.

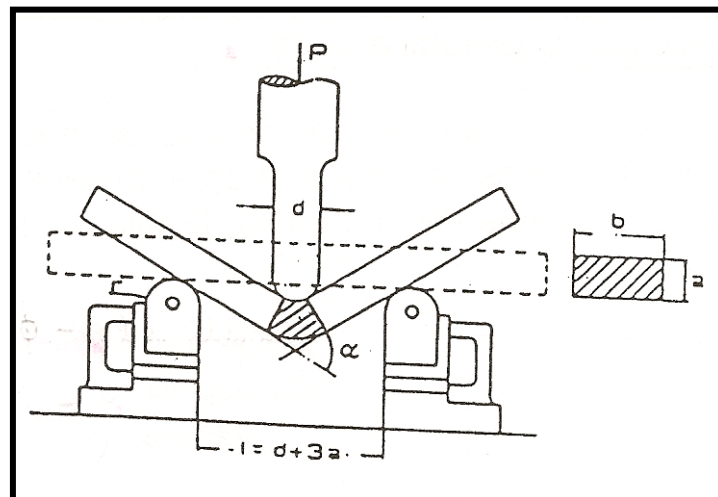


Figura 7: Doblado de cara

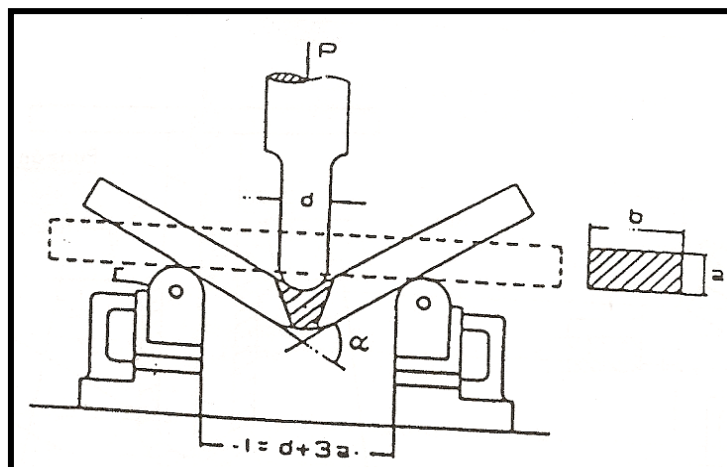


Figura 8: Doblado de raíz

3.5 Radiografía Industrial (R.T.)

Método de ensayo no destructivo para la inspección de materiales. Técnica volumétrica.

Es un método de ensayo invasivo que nos permite detectar discontinuidades internas en los materiales utilizando como medio gráfico una película radiográfica en la cual quedan grabadas las imágenes por acción de la ionización de los compuestos de plata de la película con las ondas electromagnéticas emitidas de una fuente radiactiva y la interacción posterior de esta película con los reactivos de revelado.

La radiografía industrial demanda todo un procedimiento de radioprotección, licencias especiales y personal altamente entrenado en la utilización de los equipos por su potencial riesgo para los seres humanos en manos inexpertas.

Provee imágenes en dos dimensiones.

Para la ejecución del ensayo se debe tener acceso a ambos lados del elemento a evaluar.

Durante las exposiciones no debe haber personal no autorizado cerca de la zona de trabajo por peligro de irradiación.

3.5.1 Objetivo

Obtener información sobre la macro estructura interna de un material, pieza o componente.

3.5.2 Ventajas

- Detecta defectos internos.
- Existe registro de la inspección.
- Se determina forma y tamaño del defecto.
- Es independiente de la forma y dimensiones (relativo) del material.
- Los defectos (señales) pueden ser visibles directamente. (fluoroscopia).
- Buena detectabilidad de defectos en soldadura.

3.5.3 Desventajas

- Limitado por el espesor.
- Equipos caros.
- Personal de alta calificación.
- Aplicable con eficiente protección radiológica.

3.5.4 Rayos X y Gamma

Radiaciones que tienen la propiedad de penetrar y atravesar materiales opacos a la luz visible, e impresionar las emulsiones fotográficas, obteniéndose así unos registros permanentes.

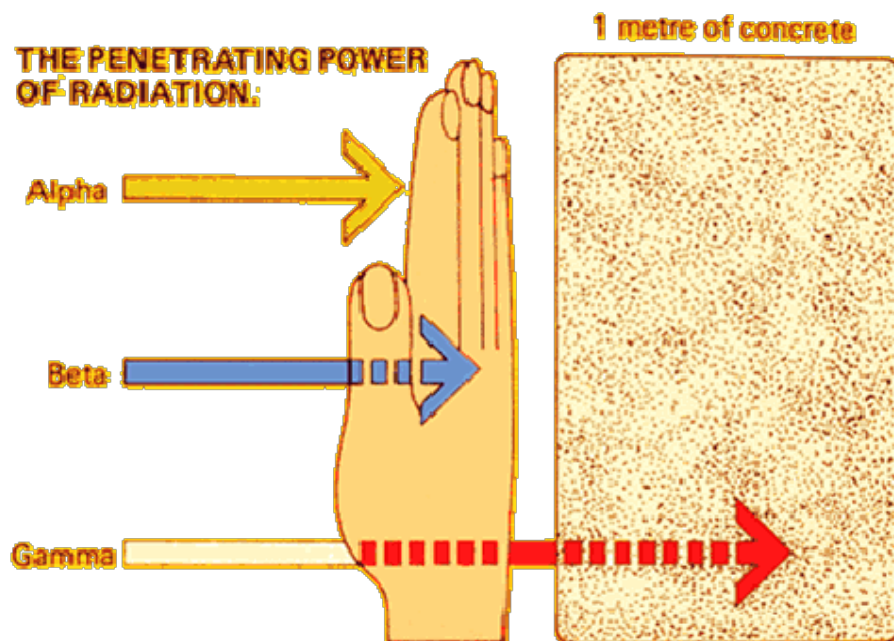


Figura 9: Poder de Penetración de las Radiaciones

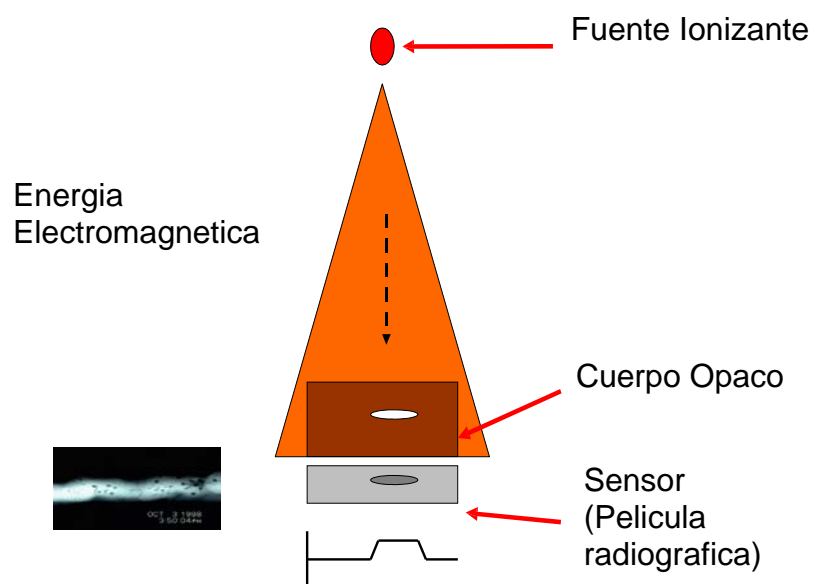


Figura 10: Principio Físico de la Radiografía Industrial

3.5.5 Fuentes de Generación

Para el análisis radiográfico se pueden utilizar dos tipos de fuentes fundamentales:

- Generadores de rayos X
- Emisores de rayos γ

3.5.6 Características de los Rayos X o Gamma (γ)

- Propagan en línea recta, sin ser desviados por campos eléctricos o magnéticos.
- Son radiaciones electromagnéticas, por tanto su energía es inversa a su longitud de onda.
- Excitan radiación fluorescente de ciertos compuestos químicos.
- Sensibilizan emulsiones fotográficas.
- Dañan tejidos vivos y no son detectables por nuestros sentidos.
- Atraviesan todos los materiales, incluso opacos sufriendo absorción o pérdida de energía en función del espesor o densidad del material.
- Las sustancias de bajo peso atómico (agua, sustancias orgánicas, plástico, madera, etc.) atenúan la radiaciones por efecto Compton, produciendo gran proporción de radiación dispersa.
- Ionizan gases.
- No tienen carga eléctrica ni masa.

3.5.7 Niveles de Aceptación

Los niveles de aceptación de los defectos vienen referenciados en las normas aplicables a la fabricación del componente.

Dentro de los códigos y normas más usados en la industria tenemos:

- ASME (Sociedad Americana para Ingenieros Mecánicos)

- ANSI (Instituto Americano de Estándares Nacionales)
- AWS (Sociedad Americana de Soldadura)
- API (Instituto de Petróleo Americano)
- ISO (Organización Internacional de Estándares)
- ASTM (Sociedad Americana para Ensayos de Materiales)

CAPITULO IV

ELABORACION DE LOS PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA (WPS)

Para realizar el Procedimiento de Soldadura (WPS) nos basaremos en la Sección 4 del Código Estructural AWS D1.1/D1.1M:2008.

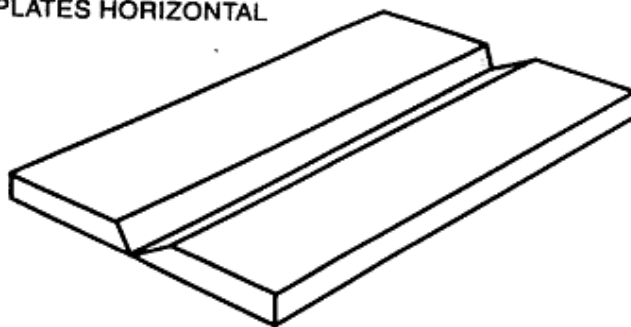
La posición de soldadura a usar será de acuerdo a la Figura 4.1 del código AWS D1.1/D1.1M:2008 (Ver anexo 1) y la unión de soldadura será de acuerdo a la Figura 05, posición plana 1G.

A su vez basándonos en la Tabla 4.1 del código AWS D1.1/D1.1M:2008 (Ver anexo 1) tenemos:

Para Planchas:

- Tipo de Soldadura..... CJP Groove
- Posición..... 1G
- Procedimiento Calificado.....F

PLATES HORIZONTAL



(A) FLAT WELDING TEST POSITION 1G

Figura 11: Posición de Soldeo 1G – CJP Groove

4.1 Tipo de Soldadura

El tipo de soldadura a usar será CJP Groove Weld, en conexiones no-tubulares, posición 1G.

4.2 Preparación del WPS

Se definirán las variables esenciales indicadas en el ítem 4.7 del código AWS D1.1D1.1M:2008, para calificar el Procedimiento de Soldadura (WPS) y obtener el Registro de Procedimiento Calificado (PQR)

4.2.1 Variables Esenciales.

Las variables esenciales para cambios y recalificaciones requeridos en los Procedimientos de Soldadura (WPS) se detallan a continuación según el proceso de soldadura empleado.

4.2.1.1 Proceso Seleccionado: SMAW

Las variables esenciales para este proceso son:

a. Metal de Aporte:

1. Incremento en la clasificación de resistencia del metal de aporte.
2. Cambio de electrodo SMAW de bajo hidrogeno a electrodo que no es de bajo hidrogeno.
3. Cambio a una clasificación de electrodo no cubierta por AWS A5.1 o A5.5.

b. Electrodo:

1. Cambio en el diámetro nominal del electrodo para incrementos > 1/32" [0,8mm]

c. Parámetros Eléctricos:

1. Cambio en la corriente de soldadura o amperaje (A) para cada diámetro usado a un valor no recomendado por el fabricante
2. Cambio en el tipo de corriente (CA a CC) o (electrodo positivo a negativo para corriente CC).

3. Cambio en la tensión de soldadura o voltaje (V) para cada diámetro usado a un valor no recomendado por el fabricante del electrodo.
4. Un incremento en el calor aportado > 10%.

d. Generales:

1. Cambio en la posición, no calificada por la Tabla 4.1 (Código AWS D1.1/D1.1M:2008) (Ver anexo 1).
2. Cambio en el diámetro, ó espesor, ó ambos, no calificados por la Tabla 4.2 (Código AWS D1.1/D1.1M:2008) (Ver anexo 2).
3. Cambio en el metal base ó combinación de metales base, no listados en el PQR o calificados por la Tabla 4.8 (Código AWS D1.1/D1.1M:2008) (Ver anexo 3).
4. Soldadura Vertical: El cambio para cualquier pase (sobremonta, relleno o raíz) de ascendente a descendente y viceversa.
5. Cambio en el tipo de bisel (Ejem. V a 2V).
6. Cambios en las tolerancias que incluyan:
 - Disminución en el ángulo del bisel.
 - Disminución en la abertura de raíz.
 - Incremento en el talón o cara de la raíz.
7. La omisión, pero no la inclusión de respaldo de raíz (Backing).
8. Disminución de la temperatura de precalentamiento para rangos mayores a 15° C.
9. Disminución de la temperatura entre pasadas para rangos mayores a 15° C
10. Adición ó eliminación del tratamiento térmico posterior a la soldadura.

4.2.1.2 Proceso Seleccionado: FCAW-G

Las variables esenciales para este proceso son:

a. Metal de Aporte:

1. Incremento en la clasificación de resistencia del metal de aporte.

2. Cambio de una clasificación de electrodo ó clasificación fundente – electrodo a cualquier otra clasificación.
3. Cambio a una clasificación de electrodo o clasificación fundente - electrodo no cubierta por AWS A5.20 o A5.29.

b. Electrodo:

1. Cambio en el diámetro nominal del electrodo para cualquier incremento.
2. Cambio en el número de electrodos.

c. Parámetros Eléctricos:

1. Cambio en la corriente de soldadura o amperaje (A) para cada diámetro usado para valores de incrementos +/- 10 %.
2. Cambio en el tipo de corriente (CA a CC) o polaridad.
3. Cambio en la tensión de soldadura o voltaje (V) para cada diámetro usado para valores de incrementos +/- 7 %.
4. Incremento o disminución en la velocidad de alimentación del alambre para cada diámetro de electrodo (si no se controla el amperaje) mayores al 10%.
5. Cambio en la velocidad de avance (salvo que se requiera control del calor aportado) para valores de incrementos +/- 25%.
6. Un incremento en el calor aportado > 10%.

d. Gas Protector:

1. Cambio en el gas de protección de un único gas a cualquier otro o a una mezcla de gases, o en la composición porcentual nominal especificada de una mezcla de gases, o a ningún gas.
2. Cambio en el caudal del gas: > 50% de incremento y >20% de disminución.
3. Cambio a un gas de protección no contemplado por AWS A5.20 o A5.29.

e. Generales:

1. Cambio en la posición, no calificada por la Tabla 4.1 (Código AWS D1.1/D1.1M:2008) (Ver anexo 1).
2. Cambio en el diámetro, ó espesor, ó ambos, no calificados por la Tabla 4.2 (Código AWS D1.1/D1.1M:2008) (Ver anexo 2).
3. Cambio en el metal base ó combinación de metales base, no listados en el PQR o calificados por la Tabla 4.8 (Código AWS D1.1/D1.1M:2008) (Ver anexo 3).
4. Soldadura Vertical: El cambio para cualquier pase (sobremonta, relleno o raíz) de ascendente a descendente y viceversa.
5. Cambio en el tipo de bisel (Ejem. V a 2V).
 - Cambios en las tolerancias que incluyan:
 - Disminución en el ángulo del bisel.
 - Disminución en la abertura de raíz.
 - Incremento en el talón o cara de la raíz.
6. La omisión, pero no la inclusión de respaldo de raíz (Backing).
7. Disminución de la temperatura de precalentamiento para rangos mayores a 15° C.
8. Disminución de la temperatura entre pasadas para rangos mayores a 15° C
9. Adición ó eliminación del tratamiento térmico posterior a la soldadura.

4.2.2 Selección del Material de Aporte

El material de aporte se selecciono en base a los metales a unir, teniendo en consideración sus composiciones químicas, propiedades mecánicas y recomendaciones dadas por los fabricantes de los aceros a utilizar.

Se eligió materiales de aporte de bajo hidrogeno para los 02 procesos de soldadura (SMAW y FCAW).

Proceso SMAW: El material de aporte seleccionado es: Electrodo E-7018 según AWS A5.1, cuya hoja de especificación técnica se puede ver en el Anexo 04.

Proceso FCAW-G: El material de aporte seleccionado es: Alambre Tubular E-71T-1 según AWS A5.20, cuya hoja de especificación técnica se puede ver en el Anexo 05.

4.2.3 Temperatura de Pre calentamiento.

La temperatura de pre calentamiento está ligada principalmente a la composición química y al espesor del material. Los materiales base son T1 FORA 500 y ASTM A36 cuyas composiciones químicas están referidas en la Tabla 1 y Tabla 8 respectivamente, así mismo los espesores a soldar son de ½ pulgada.

Se calculo la mínima temperatura de pre calentamiento según el método recomendado por el Código Estructural AWS D1.1/D1.1:2008 y se considero un nivel de restricción medio.

Además como el acero ASTM A36 tiene muy buena soldabilidad (no necesita pre calentamiento para el espesor empleado) solo se calculo la dureza máxima en la ZAC a obtener para determinar si se necesitara hallar una temperatura de pre calentamiento para el acero T1 FORA 500.

4.2.3.1 Calculo de la Máxima Dureza en la ZAC

Aporte de Calor en la Soldadura – HEAT INPUT (H):

$$H(\text{Joules} / \text{cm}) = \frac{\text{Voltaje}(V) \cdot \text{Corriente}(A) \cdot 60}{\text{Velocidad}(\text{cm} / \text{min})}$$

$$H_{\text{net}} = H \cdot \eta$$

Proceso de Soldadura	Voltaje (voltios)	Corriente (amperios)	Velocidad de Avance (cm/min)	Aporte Calor H(kj/mm)	Eficiencia Térmica del Proceso	Aporte Calor Neto Hnet (kj/mm)
SMAW	22.00	95.00	10.00	1.25	0.80	1.00
FCAW	22.00	160.00	15.00	1.41	0.90	1.27

Tabla 10

Máxima Dureza en la ZAC según Duren:

$$HV = 2019[C(1 - \text{Log}(t_{8/5})) + 0,3(CE_B - C)] + 66(1 - 0,8\text{Log}(t_{8/5}))$$

Donde:

Carbono Equivalente para Bainita (CEB):

$$CE_B = C + \frac{Si}{11} + \frac{Mn}{8} + \frac{Cu}{9} + \frac{Ni}{17} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{6} + \frac{V}{3}$$

Velocidad de Enfriamiento ($t_{8/5}$):

$$t_{8/5} = (6700 - 5T_0)H_{net} \left(\frac{1}{500 - T_0} - \frac{1}{800 - T_0} \right)$$

Si: $HV \geq HV_M$: $HV = HV_M = 802C + 305$ (Dureza de la Martensita)

Si: $HV < HV_B$: $HV = HV_B = 305CE_B + 101$ (Dureza de la Bainita)

Material Base	Composición Química (%peso)						
	C	Mn	P	S	Mo	Cr	Ni
T1 Fora 500	0.3	1.5	0.02	0.003	0.3	2	0.6

Tabla 1: Composición Química del acero T1 FORA 500

Proceso de Soldadura	Material Base	Aporte Calor Neto Hnet (kj/mm)	Temp. Inicial (°C)	t8/5 (s)	CEB	HVM	HVB	HV
SMAW	T1 Fora 500	1.00	25.00	5.36	0.95	545.60	391.51	586.86
FCAW	T1 Fora 500	1.27	25.00	6.80	0.95	305.00	391.51	598.96

Tabla 11: Calculo de la Máxima Dureza en la ZAC

Según los cálculos realizados y comparando los valores obtenidos (Tabla 11) con la Tabla 12 observamos que se trata de un acero con **riesgo de fisuración en frío muy probable**, por lo que se necesita calcular una Temperatura de Pre calentamiento para evitar dicho riesgo.

Dureza Máxima en la ZAC	Máximo % de Martensita presente	Riesgo de Fisuración en frío
> 450 HV	> 70%	Muy Probable
De 350 HV a 450 HV	50 – 70 %	Probable
De 280 HV a 350 HV	30 – 50 %	Poco Probable
< 280 HV	< 30%	Sin riesgo alguno (No hay necesidad de tratamiento Post-Soldadura)

Dureza Vickers (HV) medida aplicando una carga de 10 Kilogramos

Tabla 12: Relación entre la Dureza Máxima en la ZAC, el Porcentaje de Martensita presente y el riesgo de Fisuración en Frío en la ZAC asociado a ellos

4.2.3.2 Cálculo de la Temperatura de Pre calentamiento

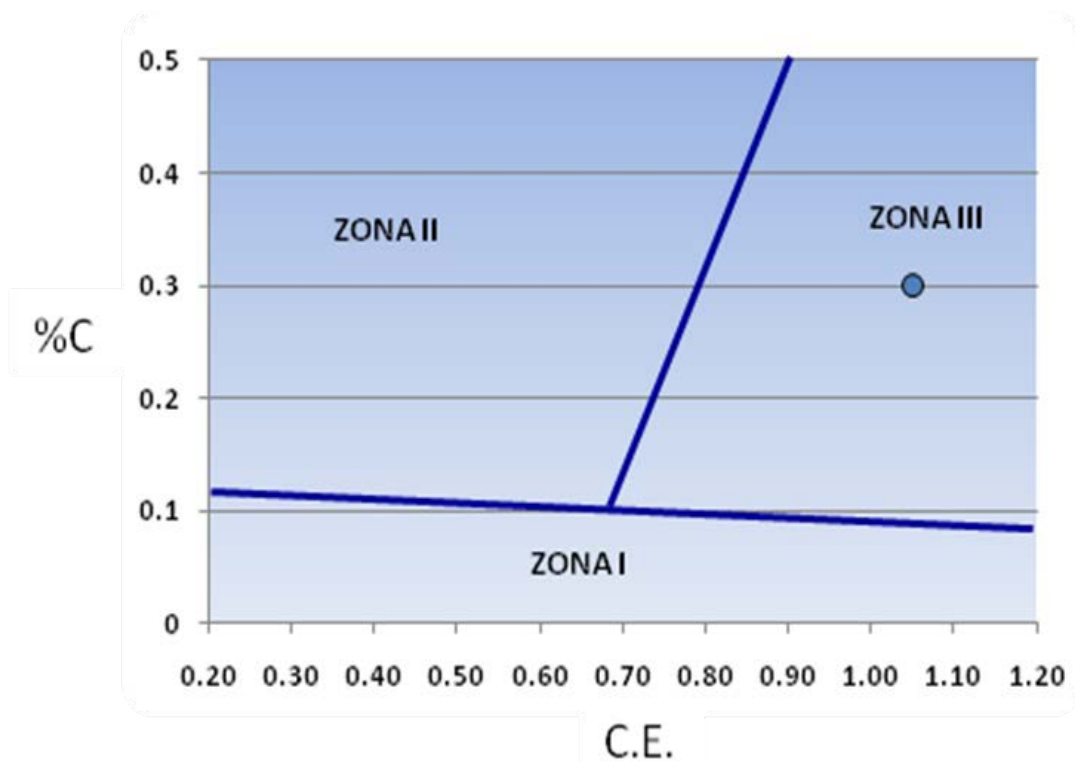
Material Base	Composición Química (%peso)								CE _{AWS}
	C	Mn	P	S	Mo	Cr	Ni	B	
T1 Fora 500	0.3	1.5	0.02	0.003	0.3	2	0.6	0.003	1.05

Tabla 1: Composición Química del acero T1 FORA 500

Carbono Equivalente (CE_{AWS}):

$$CE_{AWS} = C + \frac{Mn + Si}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

Diagrama de Graville



Observando el diagrama de Graville apreciamos que el acero T1 FORA 500 cae en la Zona III, lo que nos indica que es un acero con

tendencia a la fisuración por lo que el código AWS D1.1/D1.1M:2008 recomienda usar el método del Control del Hidrógeno para calcular la Temperatura Mínima de Pre calentamiento y disminuir y/o evitar el riesgo a la fisuración.

4.2.3.2.1 Método del Control del Hidrógeno:

Parámetro de Composición (PCM):

$$PCM = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$$

$$\text{Índice de Susceptibilidad} = 12PCM + \text{Log}(H)$$

Proceso de Soldeo	Material Base	Espesor Material Base (mm)	Nivel de Hidrógeno ml/100g	PCM	Índice de Suscept.	Nivel de Restricción	Tp. mínima (°C)
SMAW	T1	12.7	10	0.52	7.2	Medio	160
FCAW	T1	12.7	4	0.52	6.8	Medio	160

Tabla 13: Cálculo de la Temperatura de Pre calentamiento

		INDICE DE SUSCEPTIBILIDAD AL AGRIETAMIENTO						
Nivel de Restricción	Espesor (mm)	A 3,0	B 3,1 - 3,5	C 3,6 - 4,0	D 4,1 - 4,5	E 4,6 - 5,0	F 5,1 - 5,5	G 5,6 - 7,0
BAJO	< 10	< 20°	< 20°	< 20°	< 20°	60°	140°	150°
	10 - 20	< 20°	< 20°	20°	60°	100°	140°	150°
	20 - 38	< 20°	< 20°	20°	80°	110°	140°	150°
	38 - 75	20°	20°	40°	95°	120°	140°	150°
	> 75	20°	20°	40°	95°	120°	140°	150°
MEDIO	< 10	< 20°	< 20°	< 20°	< 20°	70°	140°	160°
	10 - 20	< 20°	< 20°	20°	80°	115°	145°	160°
	20 - 38	20°	20°	75°	110°	140°	150°	160°
	38 - 75	20°	80°	110°	130°	150°	150°	160°
	> 75	95°	120°	140°	150°	160°	160°	160°
ALTO	< 10	< 20°	< 20°	< 20°	40°	110°	150°	160°
	10 - 20	< 20°	20°	65°	105°	140°	160°	160°
	20 - 38	20°	85°	115°	140°	150°	160°	160°
	38 - 75	115°	130°	150°	150°	160°	160°	160°
	> 75	115°	130°	150°	150°	160°	160°	160°

Tabla 14: Temperaturas de Pre calentamiento (°C) y de Interpase Mínima para Diferentes Condiciones según el Código AWS D1.1/D1.1M:2008

Después de terminar los cálculos respectivos obtenemos una Temperatura de Pre calentamiento y de Interpases Mínima de 160°C para los dos procesos de soldeo empleados (SMAW y FCAW). Con estos datos se procedió a elaborar los Procedimientos de Soldadura que se presentan a continuación.

	SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD REGISTRO	CC/PRO-03/REG-01	
	ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA SEGUN AWS D1.1/D1.1M:2008	Rev.:	2
		Fecha:	10/12/07
		Pág.:	1 de 1

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)			
PREQUALIFIED		QUALIFIED BY TESTING	
or PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS (PQR)		X	
Company Name	Identification # <u>TM-CC-219-09-002</u>		
Welding Process(es) <u>SMAW</u>	Revision <u>2</u>	Date <u>ago-09</u>	By _____
Supporting PQR N° (s) <u>TM-PQR-219-09-002</u>	Authorized by: _____ Date <u>ago-09</u>		
Type <input checked="" type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/> Semi-Automatic		<input type="checkbox"/> Machine <input type="checkbox"/> Automatic	
JOINT DESIGN USED			
Type:	<u>Butt Joint - Single Bevel - Groove Weld</u>		
Single <input checked="" type="checkbox"/>	Double Weld <input type="checkbox"/>		
Backing: Yes <input type="checkbox"/>	No <input checked="" type="checkbox"/>		
Backing Material: _____			
Root Opening <u>3</u>	Root Face Dimension <u>3</u>		
Groove Angle <u>60°</u>	Radius (J - U) <u>---</u>		
Back Gouging: Yes <input type="checkbox"/>	No <input checked="" type="checkbox"/>		
Method: _____			
BASE METALS			
Material Spec. <u>ASTM A36 - ASTM A514(T1)</u>			
Type or Grade <u>Fora 500</u>			
Thickness: Groove <u>12,7 mm</u>	Fillet <u>---</u>		
FILLER METALS			
AWS Specification <u>AWS A5.1</u>			
AWS Classification <u>E-7018</u>			
SHIELDING			
Flux _____	Gas _____		
Composition _____			
Electrode-Flux(Class) _____	Flow Rate _____		
Gas Cup Size _____			
PREHEAT			
Preheat Temp. Min <u>160°</u>			
Interpass Temp. Min <u>160°</u>	Max. <u>---</u>		
POSITION			
Position of Groove <u>Plana</u>	Fillet <u>---</u>		
Vertical Progression: Up <input type="checkbox"/>	Down <input type="checkbox"/>		
ELECTRICAL CHARACTERISTICS			
Transfer Mode (GMAW) <input type="checkbox"/> Globular	<input type="checkbox"/> Pulsed		<input type="checkbox"/> Spray
Short-Circuiting <input type="checkbox"/>			
Current: AC <input type="checkbox"/>	DCEP <input checked="" type="checkbox"/>		DCEN <input type="checkbox"/>
Other _____			
Tungsten Electrode (GTAW)			
Size _____			
Type _____			
TECHNIQUE			
Stringer or Weave Bead: <u>1 stringer, others Weave Bead</u>			
Multi-pass or Single Pass (per side) <u>Multi Pass</u>			
Number of Electrodes: <u>1</u>			
Electrode Spacing: Longitudinal _____	Lateral _____		Angle _____
Contact Tube to Work Distance: _____			
Peening: <u>None</u>			
Interpass Cleaning: <u>Wire Brush</u>			
POSTWELD HEAT TREATMENT			
Temp. <u>N.A.</u>			
Time <u>N.A.</u>			

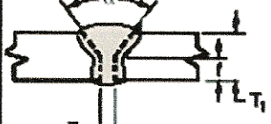
WELDING PROCEDURE								
Pass or Weld Layer(s)	Process	Filler Metals		Current		Voltaje (Volts)	Travel Speed (cm/min)	Joint Details
		Class	Diam.	Type & Polarity	Corriente (Amps)			
1	SMAW	E-7018	1/8"	DCEP	95	22	9,5	 <p>R = 3,0 mm f = 3,0 mm T1 = 12,7 mm α = 60°</p>
2 @ 6	SMAW	E-7018	1/8"	DCEP	135	23	12,5	

Figura 12: Procedimiento de Soldadura mediante el proceso SMAW

	SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD	CC/PRO-03/REG-01	
	REGISTRO	Rev.:	2
	ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA	Fecha:	10/12/07
	SEGUN AWS D1.1/D1.1M:2008	Pág.:	1 de 1

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)			
PREQUALIFIED _____ QUALIFIED BY TESTING <u>X</u> or PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS (PQR)		Identification # <u>TM-CC-219-09-006</u>	
Company Name _____	Welding Process(es) <u>FCAW</u>	Revision <u>0</u> Date <u>ago-09</u> By _____	Authorized by: _____ Date <u>ago-09</u>
Supporting PQR N° (s) <u>TM-PQR-219-09-006</u>		Type Manual <input type="checkbox"/>	Semi-Automatic <input checked="" type="checkbox"/>
		Machine <input type="checkbox"/>	Automatic <input type="checkbox"/>
JOINT DESIGN USED			
Type: <u>Butt Joint - Single Bevel - Groove Weld</u>			
Single <input checked="" type="checkbox"/> Double Weld <input type="checkbox"/>			
Backing: Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>			
Backing Material: _____			
Root Opening <u>2</u> Root Face Dimension <u>2</u>			
Groove Angle <u>60°</u> Radius (J - U) _____			
Back Gouging: Yes <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			
Method: <u>Removal with grinding the weld to sound metal before welding second side</u>			
BASE METALS			
Material Spec. <u>ASTM A36 - ASTM A514(T1)</u>			
Type or Grade <u>Fora 500</u>			
Thickness: Groove <u>12,7 mm</u> Fillet _____			
FILLER METALS			
AWS Specification <u>AWS A5.20</u>			
AWS Classification <u>E-71T-1</u>			
SHIELDING			
Flux _____ Gas <u>Ar + CO₂</u>			
Composition <u>80%+20%</u>			
Electrode-Flux(Class) _____ Flow Rate <u>28 L/min</u>			
Gas Cup Size _____			
PREHEAT			
Preheat Temp. Min <u>160°</u>			
Interpass Temp. Min <u>160°</u> Max. _____			
POSITION			
Position of Groove <u>Plana</u> Fillet _____			
Vertical Progression: Up <input type="checkbox"/> Down <input type="checkbox"/>			
ELECTRICAL CHARACTERISTICS			
Transfer Mode (GMAW) Short-Circuiting <input type="checkbox"/>			
Globular <input type="checkbox"/> Pulsed <input type="checkbox"/> Spray <input type="checkbox"/>			
Current: AC <input type="checkbox"/> DCEP <input checked="" type="checkbox"/> DCEN <input type="checkbox"/>			
Other _____			
Tungsten Electrode (GTAW)			
Size _____ N.A.			
Type _____ N.A.			
TECHNIQUE			
Stringer or Weave Bead: <u>Stringer</u>			
Multi-pass or Single Pass (per side) <u>Multipass</u>			
Number of Electrodes: <u>1</u>			
Electrode Spacing: Longitudinal _____			
Lateral _____			
Angle _____			
Contact Tube to Work Distance: <u>3/4"</u>			
Peening: <u>None</u>			
Interpass Cleaning: <u>Grinding and Wire Brush</u>			
POSTWELD HEAT TREATMENT			
Temp. _____ N.A.			
Time _____ N.A.			

WELDING PROCEDURE								
Pass or Weld Layer(s)	Process	Filler Metals		Current		Voltaje (Volts)	Travel Speed (cm/min)	Joint Details
		Class	Diam.	Type & Polarity	Corriente (Amps)			
1	FCAW	E-71T-1	1/16"	DCEP	160	22	15,0	<p>R = 2,0 mm f = 2,0 mm T1 = 12,7 mm $\alpha = 60^\circ$</p>
2	FCAW	E-71T-1	1/16"	DCEP	250	24	25,0	
3 @ 6	FCAW	E-71T-1	1/16"	DCEP	290	25	30,0	

Figura 13: Procedimiento de Soldadura mediante el proceso FCAW-G

CAPITULO V

CALIFICACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA

Para calificar los procedimientos de soldadura se hará referencia al Código Estructural AWS D1.1/D1.1M:2008, el cual nos indica los ensayos a realizar para calificar los WPS para ambos procesos (SMAW y FCAW).

5.1 Tipos de Ensayos de Calificación

El tipo y número de los ensayos necesarios para calificar un WPS para un espesor dado, diámetro, o ambos, se ajustarán a la Tabla 4.2 (CJP) (Ver anexo 2) del Código Estructural AWS D1.1/D1.1M:2008.

5.1.1 Ensayos No Destructivos:

- Inspección Visual
- Ensayo de Radiografía Industrial

5.1.2 Ensayos Destructivos:

En la Tabla 4.2 (Ver anexo 2) del Código AWS D1.1/D1.1M:2008 se especifica el tipo y la cantidad de los ensayos a realizar según el espesor de material base.

Para nuestro caso el espesor de material base es 12,7 mm, entonces la Tabla 4.2 nos indica:

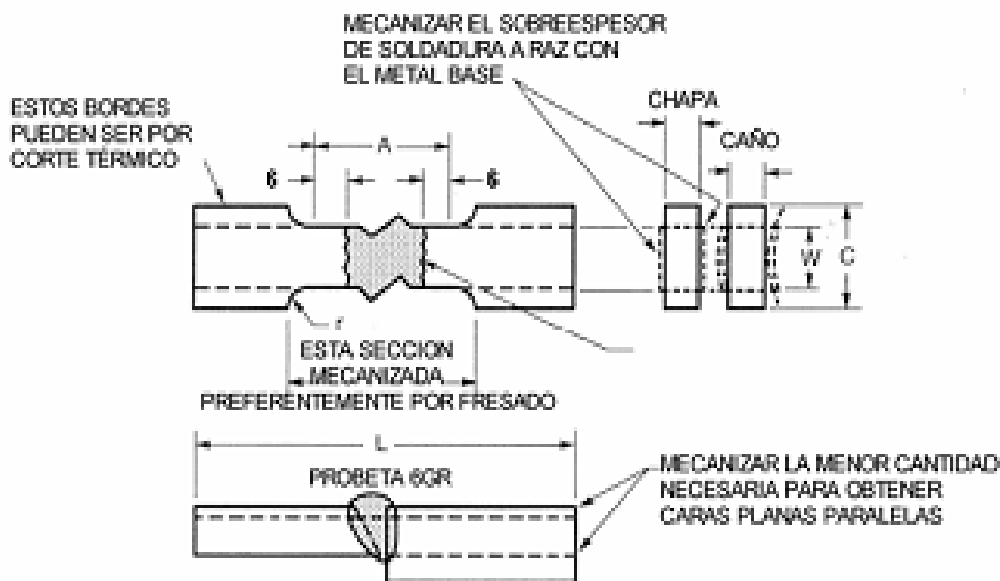
- Ensayo de Tensión de Sección Reducida: 02 especímenes.
- Ensayo de Doblado de Lado: 04 especímenes.

5.1.3 Esquemas y Dimensiones de Probetas

5.1.3.1 Ensayo de Tensión de Sección Reducida

En la Figura 4.14 del Código AWS D1.1/D1.1M:2008 que se muestra a continuación se indican las dimensiones mínimas que deben tener los especímenes para realizar el ensayo de Tensión de Sección Reducida, en función del espesor nominal del material base a ensayar.

Para nuestro caso, el espesor es de 12,7 mm, las dimensiones de las probetas de Tensión de Sección Reducida serán:



	Espesor de la Chapa de Ensayo, T [mm]			Diámetro del Tubo de Ensayo [mm]	
	T ≤ 25	25 < T < 38	T ≥ 38	50 y 75	150 y 200 o el prefabricado de mayor diámetro
A – Largo de la sección reducida	La cara más ancha de la soldadura + 12 mm o mínimo 60 mm			La cara más ancha de la soldadura + 12 mm o mínimo 60 mm	
L – Largo total, mínimo (Nota 1)	Según lo requiera el equipo de ensayo			Según lo requiera el equipo de ensayo	
W – Ancho mínimo de la sección reducida (Notas 2, 3)	20 mm	20 mm	20 mm	12 mm	20 mm
C – Ancho mínimo de la sección de sujeción (Notas 3, 4)	W+ 12 mm	W+ 12 mm	W+ 12 mm	W+ 12 mm	W+12 mm
t – Espesor de la probeta (Notas 5)	T	T	Tp/n (Nota 6)	El máximo posible con caras planas y paralelas dentro del largo A	
r – Radio mínimo	12 mm	12 mm	12 mm	25 mm	25 mm

Notas:

1. Resultara apropiado hacer el largo de la sección de sujeción suficientemente grande para permitir que la fijación de la probeta en la mordaza sea a una distancia igual o mayor que dos tercios del largo de la mordaza.
2. Los extremos de la sección reducida no deberán tener una diferencia mayor que 0,1 mm. También deberá haber una disminución gradual en el ancho desde los extremos al centro, pero el ancho de cualquiera de los extremos será menor o igual que 0,38 mm respecto del ancho en el centro.
3. Podrán ser usados, cuando sea necesario, anchos reducidos (W y C) En tales casos, el ancho de la sección reducida deberá ser tan grande como el ancho del material que está siendo ensayado lo permita. Si el ancho del material es menor que W, los lados podrán ser paralelos en todo el largo de la probeta.
4. Para probetas de chapas del tipo estándar, los extremos de la probeta deberán ser simétricos con la línea de centro de la sección reducida dentro de los 6 mm. La dimensión t es el espesor de la probeta como está dispuesto en las especificaciones aplicables del material. El espesor nominal mínimo de las probetas de 38 mm de ancho deberá ser de 5 mm, excepto lo permitido por la especificación del producto.
5. Para chapas mayores que 38 mm de espesor, las probetas podrán ser cortadas en tiras o planchuelas aproximadamente iguales. Cada tira deberá tener un espesor mínimo de 20 mm. Los resultados de los ensayos de cada tira deberán alcanzar los requerimientos mínimos.

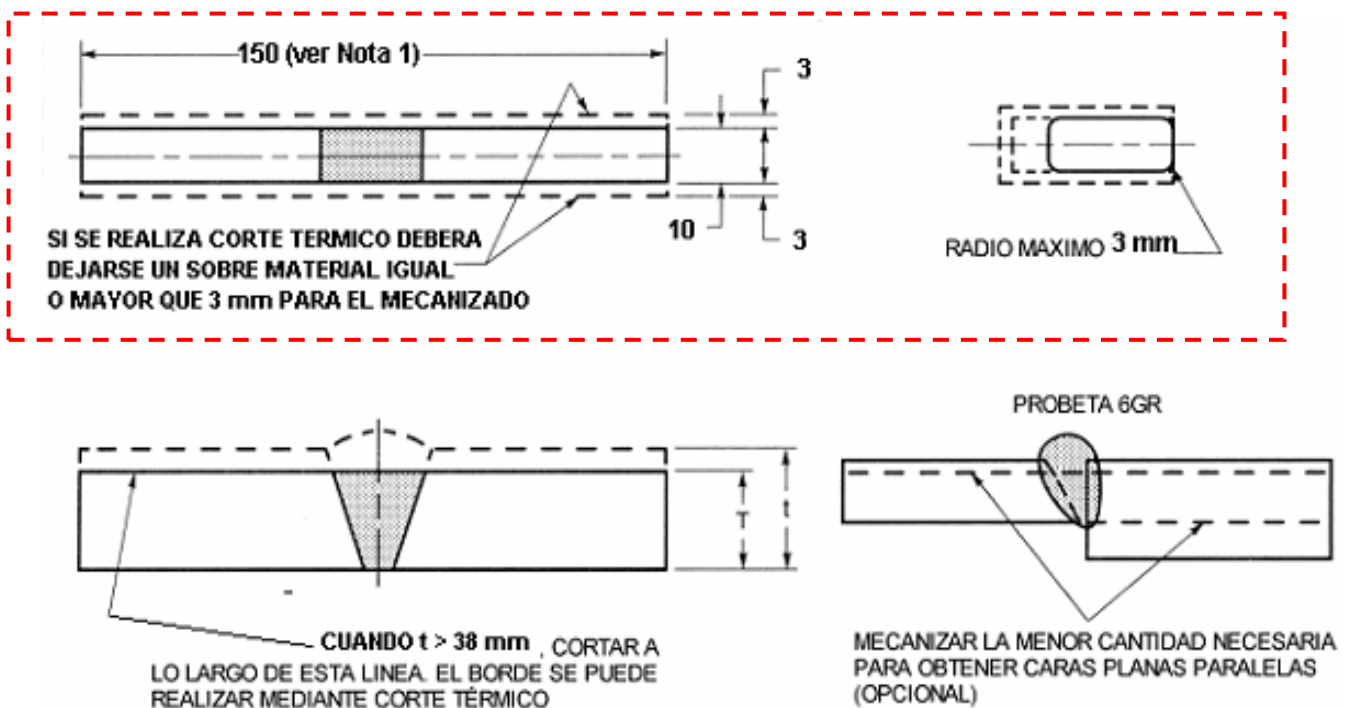
Figura 4.14 – Probetas de Tracción de Sección Reducida

Extraído del Código Estructural AWS D1.1/D1.1M:2008

5.1.3.2 Ensayo de Doblado de Lado

La Figura 4.13 del Código AWS D1.1/D1.1M:2008 que se muestra a continuación nos indica las dimensiones que debe tener el espécimen para el Ensayo de Doblado de Lado.

También se debe seleccionar el diámetro del Pin, según la resistencia a la fluencia del material base el mismo que se observa en la Figura 4.15 del Código AWS D1.1/D1.1M:2008 que se presenta a continuación.



t = espesor de la chapa, caño o tubo

t, mm	T, mm
10 a 38	t
> 38	(ver Nota 2)

Notas:

1. Puede ser necesario una probeta de una longitud mayor cuando se usa un plegado con fijación del tipo punzón o rodillo de envoltura o cuando se ensaye un acero con una resistencia a la fluencia igual o mayor que 620 MPa.
2. Para chapas mayores que 38 mm de espesor, cortar la probeta en tiras aproximadamente iguales con T entre 20 mm y 38 mm. Ensayar cada tira.

Figura 4.13 – Probetas de Doble de Lado

Extraído del Código Estructural AWS D1.1/D1.1M:2008

Por lo tanto se realizarán los siguientes ensayos (según el Código Estructural AWS D1.1/D1.1M:2008)

- Inspección Visual.
- Radiografía Industrial.
- Dos probetas para ensayo de Tracción de Sección Reducida.
- Cuatro probetas para ensayo de Doblado de Lado.

5.2 Criterios de Aceptación de los Ensayos de Calificación (Según el Código Estructural AWS D1.1/D1.1M:2008)

5.2.1 Criterios de Aceptación para la Inspección Visual

Para obtener una calificación aceptable las soldaduras deberán cumplir con los siguientes requerimientos:

1. La soldadura deberá estar libre de fisuras.
2. Todos los cráteres deberán ser llenados hasta completar la sección transversal de soldadura.
3. La cara de la soldadura deberá estar al ras con la superficie del metal base o deberá emerger suavemente del metal base. La socavación deberá ser menor o igual que 1/32 in (1mm). El refuerzo o sobremonta de la cara de la soldadura deberá ser menor o igual que 1/8 in (3mm).
4. La raíz de la soldadura deberá ser inspeccionada y no deberán verificarse evidencias de fisuras, fusión incompleta o penetración inadecuada de la junta. Se permitirá una superficie cóncava de la raíz dentro de los límites indicados en (5), con tal que el espesor total de la soldadura sea igual o mayor que el del metal base.
5. La máxima concavidad de la raíz deberá ser 1/16" (2mm) y el máximo sobreespesor de raíz por penetración deberá ser 1/8" (3mm). Para uniones tubulares T, K e Y el sobreespesor de raíz por penetración es considerado deseable y no debe ser causa de rechazo.

5.2.2 Criterios de Aceptación para el Ensayo de Tracción de Sección Reducida

Se establece como requisito de conformidad para este ensayo que:

“La resistencia a la tracción no debe ser menor de el mínimo de la resistencia a la tracción especificada del metal base usado.”

5.2.3 Criterios de Aceptación para Ensayo de Doblado de Lado

Las superficies convexas de las probetas de ensayo dobladas deben ser visualmente examinadas para detectar discontinuidades superficiales. Para ser aceptada la muestra no debe contener discontinuidades que excedan las dimensiones dadas a continuación:

1. 1/8" (3mm) medidos en cualquier dirección sobre la superficie.
2. 3/8" (10mm) la suma de la mayor dimensión de las discontinuidades que excedan 1/32" (1mm), pero que sean menores o iguales a 1/8" (3mm).
3. 1/4" (6mm) la máxima fisura de cráter, excepto cuando dicha fisura provenga de una inclusión de escoria u otro tipo de discontinuidad de fusión, si este es el caso, se debe aplicar el criterio máximo de 1/8" (3mm).
4. Las probetas con fisuras de cráter que excedan 1/4" (6mm) que no evidencien inclusión de escoria u otro tipo de discontinuidad de fusión deben ser descartadas y reemplazadas del cupón original.

5.3 Dimensiones de las Probetas a Ensayar

Grafico de la probeta de soldadura en la cual se indica las dimensiones y zonas de donde fueron extraídos los especímenes para ser ensayados.

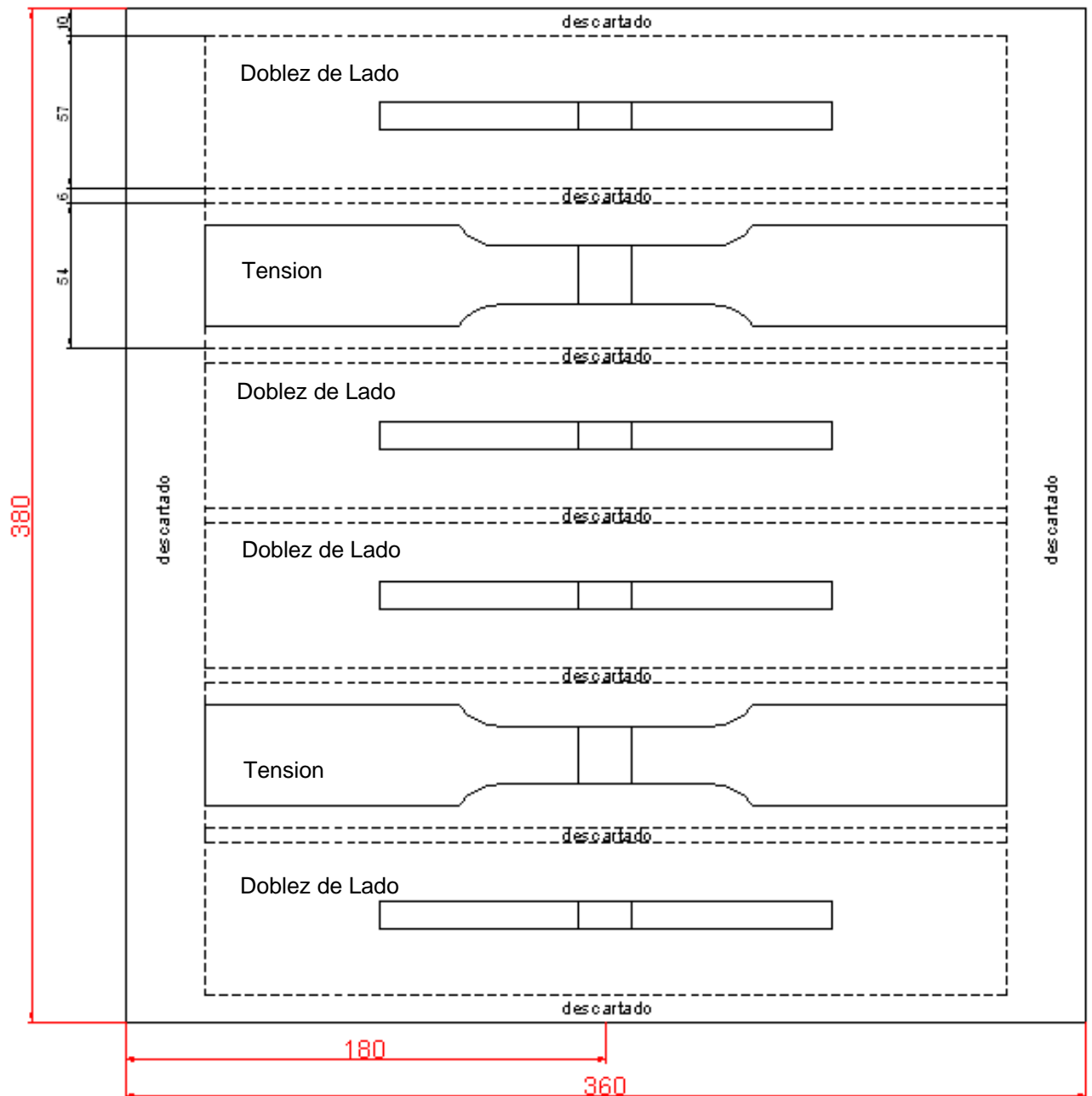


Figura 15

Nota: Todas las dimensiones están expresadas en milímetros.

5.3.1 Dimensiones de las Probetas de Tracción de Sección Reducida

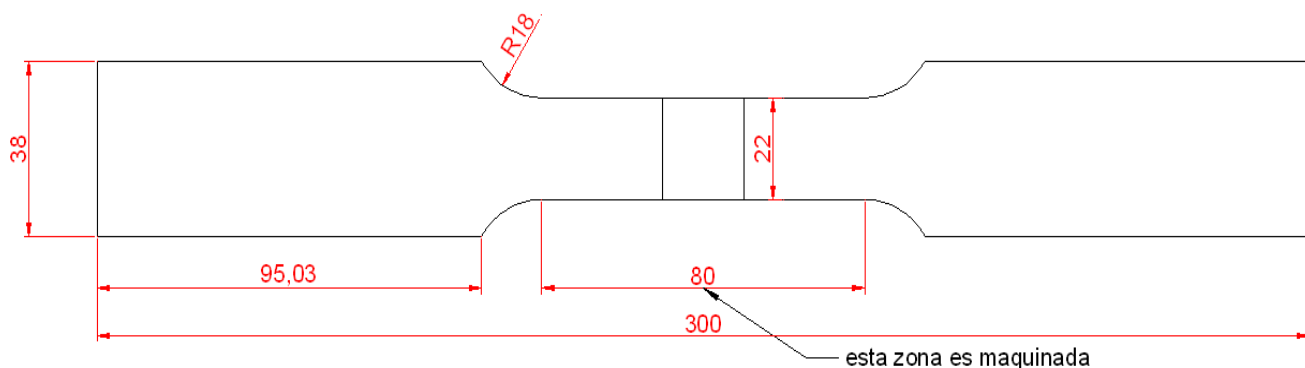


Figura 16: Probeta de Tracción

5.3.2 Dimensiones de las Probetas de Dobleza de Lado

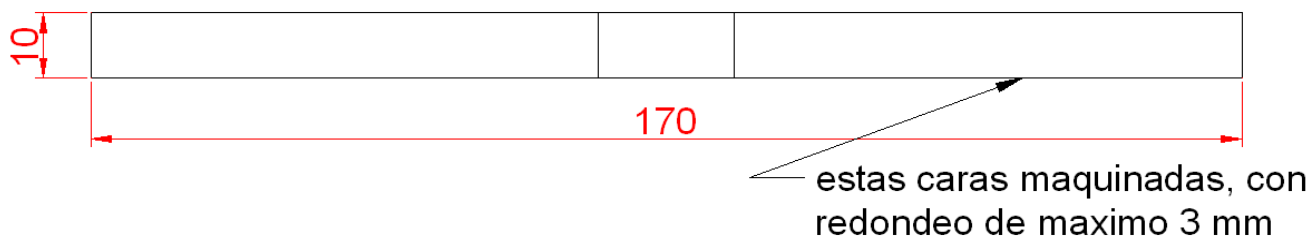


Figura 17: Probeta de Dobleza de Lado

Nota: Todas las dimensiones están expresadas en milímetros.

5.4 RESULTADOS OBTENIDOS

Calificación del Procedimiento de Soldadura PQR (Record Qualification Procedure)

5.4.1 Ensayos de Tracción: Se realizaron en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Pontificia Universidad Católica del Perú, para ambos procesos de soldadura (SMAW y FCAW), cuyos resultados se presentan a continuación:

LABORATORIO DE MATERIALES

Departamento de *Ingeniería*
Sección *Ingeniería Mecánica*



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

CON SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD SEGÚN NTP ISO/IEC 17025

MAT-AGO-0662/2009

ENSAYO DE TRACCIÓN**INFORME DE LABORATORIO**

MAT-Lab-4.04

SOLICITADO POR : NDT ENGINEERING S.A.C.
DIRECCIÓN : Jr. Vesalio 725 – San Borja
REALIZADO POR : Laboratorio de Materiales - Analista 06.
MUESTRA : Probetas soldadas: Carlos Tuesta Ruiz.
FECHA : 2009.08.19.

RESULTADOS:

MUESTRA		1	2
SECCIÓN TRANSVERSAL (a x b)	ANCHO (mm)	19.99	19.98
	ESPESOR (mm)	12.37	12.43
	ÁREA (mm ²)	247.3	248.4
CARGAS (kN)	FLUENCIA	---	---
	MÁXIMA	145.5	146.5
TENSIONES (MPa)	FLUENCIA	---	---
	MÁXIMA	589	590

Fecha de Ejecución: 2009.08.19.

OBSERVACIONES:

- . Condición de las muestras: Visualmente en buen estado.
- . Las probetas ensayadas fueron extraídas de las muestras proporcionadas por el solicitante.
- . Norma de ensayo: AWS D1.1 - 2008.
- . Temperatura ambiente durante el ensayo: 21,3 °C.
- . La rotura de las muestras 1 y 2 se produjo en el metal base.
- . **SEGÚN INDICACIONES DEL SOLICITANTE:**
 - Material A36 / T1 (FORA 500)
 - Proceso SMAW (E7018 ø 1/8").
 - Posición 1G.
 - Temperatura de precalentamiento: Mínimo 160 °C, Máximo 200 °C

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales

Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica

ROBERTO LAZARTE GAMERO CIP 33856
Teléfono: (511) 626 - 2000 Fax: (511) 626 - 2855
Laboratorio de Materiales

Av. Universitaria 1801 - San Miguel
Lima - Perú
www.pucp.edu.pe

Apartado Postal
N° 1761 Lima 100 - Perú
labmat@pucp.edu.pe

Anexo: 4842

Figura 18: Reporte del Ensayo de Tracción – Probeta SMAW

LABORATORIO DE MATERIALES

Departamento de *Ingeniería*
Sección *Ingeniería Mecánica*



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

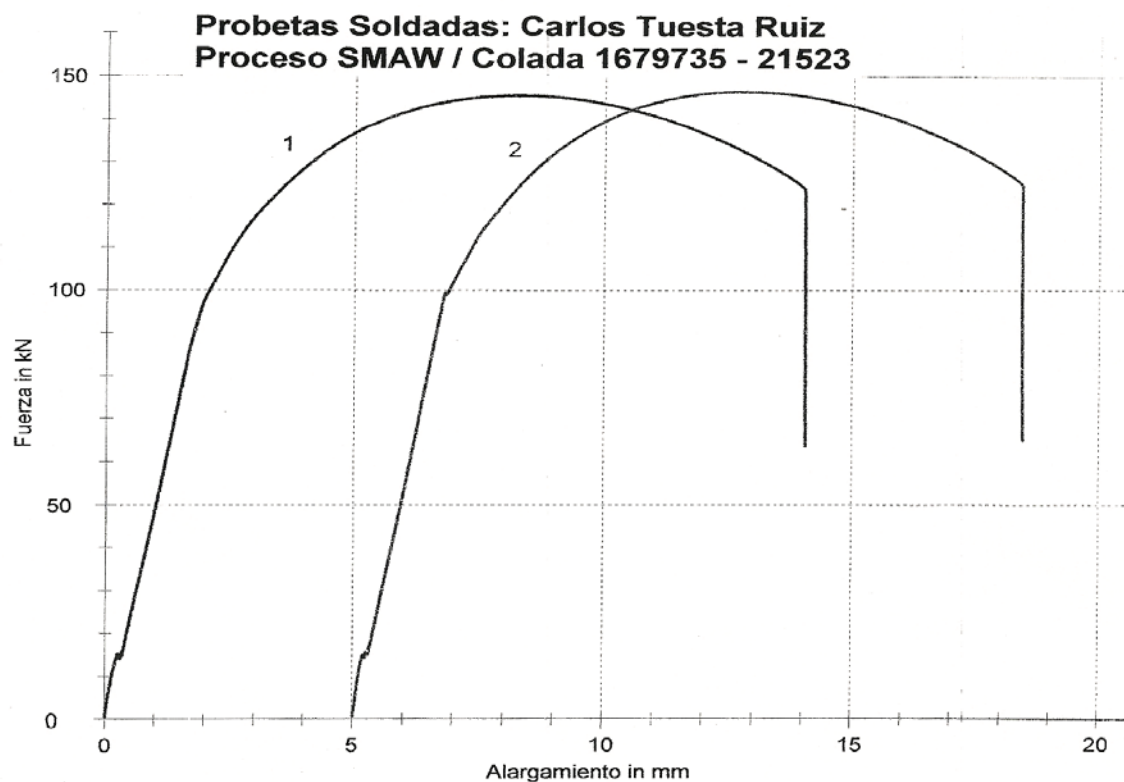
CON SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD SEGÚN NTP ISO/IEC 17025

Zwick / Roell

Standard test report

19.08.2009

MAT-AGO-0662/2009



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica

Ing. ROBERTO LAZARTE GAMERO CIP 33858
Jefe de Laboratorio de Materiales

Av. Universitaria 1801 - San Miguel

Lima - Perú

www.pucp.edu.pe

Apartado Postal

N° 1761 Lima 100 - Perú

labmat@pucp.edu.pe

Teléfono

(511) 626 - 2000

Anexo: 4842

Fax

(511) 626 - 2855

Figura 18 (continuación): Reporte del Ensayo de Tracción – Probeta SMAW

LABORATORIO DE MATERIALES

Departamento de Ingeniería
Sección Ingeniería Mecánica



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

CON SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD SEGÚN NTP ISO/IEC 17025

MAT-AGO-0662/2009

ENSAYO DE TRACCIÓN

INFORME DE LABORATORIO

MAT-Lab-4.04

SOLICITADO POR : NDT ENGINEERING S.A.C.
DIRECCIÓN : Jr. Vesalio 725 – San Borja
REALIZADO POR : Laboratorio de Materiales - Analista 06.
MUESTRA : Probetas soldadas: Carlos Tuesta Ruiz.
FECHA : 2009.08.19.

RESULTADOS:

MUESTRA		1	2
SECCIÓN TRANSVERSAL (a x b)	ANCHO (mm)	20.09	20.27
	ESPESOR (mm)	12.33	12.29
	ÁREA (mm ²)	247.7	249.1
CARGAS (kN)	FLUENCIA	---	---
	MÁXIMA	147.5	149.2
TENSIONES (MPa)	FLUENCIA	---	---
	MÁXIMA	595	599

Fecha de Ejecución: 2009.08.19.

OBSERVACIONES:

- . Condición de las muestras: Visualmente en buen estado.
- . Las probetas ensayadas fueron extraídas de las muestras proporcionadas por el solicitante.
- . Norma de ensayo: AWS D1.1 - 2008.
- . Temperatura ambiente durante el ensayo: 21,3 °C.
- . La rotura de las muestras 1 y 2 se produjo en el metal base.

SEGÚN INDICACIONES DEL SOLICITANTE:

- Material A36 / T1 (FORA 500)
- Proceso FCAW (E-71T-1 ø 1/16).
- Posición 1G.
- Temperatura de precalentamiento: Mínimo 160 °C, Máximo 200 °C

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales

Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica

Av. Universitaria 1801 - San Miguel
Lima - Perú

Apartado Postal
N° 1761 Lima 100 - Perú

Ing. ROBERTO LAZARTE GARCÍA CIP 33859
Teléfono (511) 626 - 2000 Fax (511) 626 - 2855
Jefe de Laboratorio de Materiales

Figura 19: Reporte del Ensayo de Tracción – Probeta FCAW

LABORATORIO DE MATERIALES

Departamento de Ingeniería
Sección Ingeniería Mecánica



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

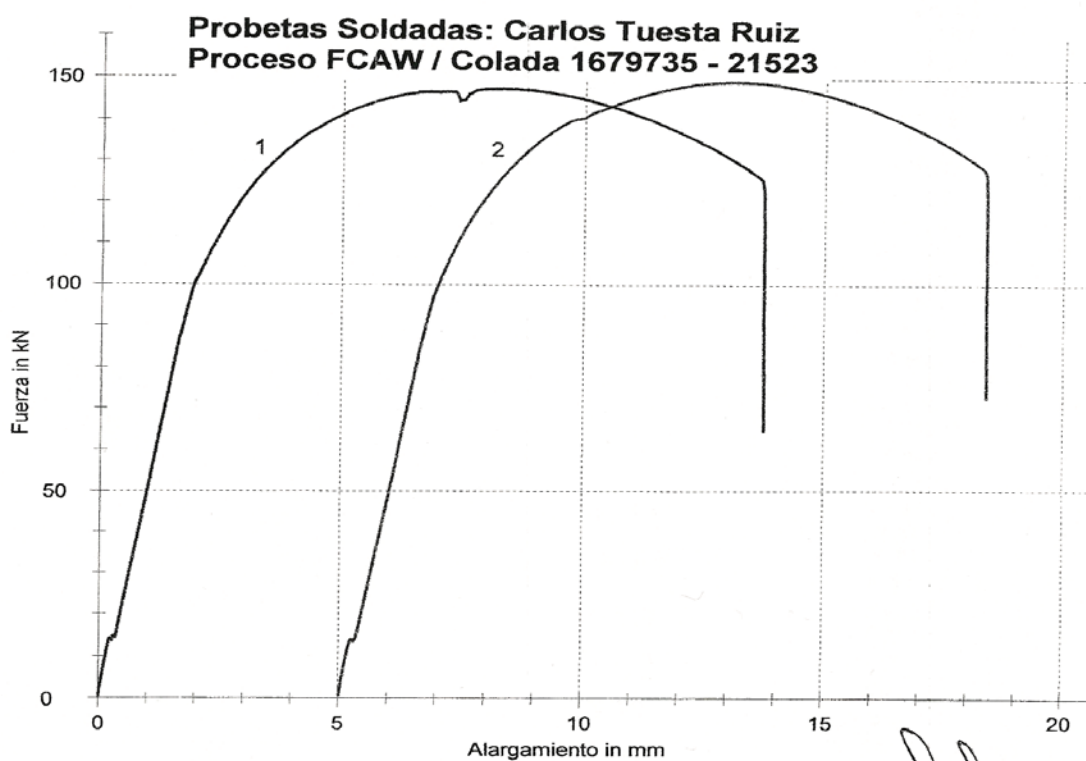
CON SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD SEGÚN NTP ISO/IEC 17025

Zwick / Roell

Standard test report

19.08.2009

MAT-AGO-0662/2009



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica

MSc. Ing. ROBERTO LAZARTE CAMPEÓN, Ph.D.
Jefe de Laboratorio de Materiales

Av. Universitaria 1801 - San Miguel
Lima - Perú
www.pucp.edu.pe

Apartado Postal
N° 1761 Lima 100 - Perú
labmat@pucp.edu.pe

Teléfono
(511) 626 - 2000
Anexo: 4842

Fax
(511) 626 - 2855

Figura 19 (continuación): Reporte del Ensayo de Tracción – Probeta FCAW



Foto 1: Probeta sometida al ensayo de tracción.



Foto 2. Falla en metal base de menor resistencia (ASTM A36).

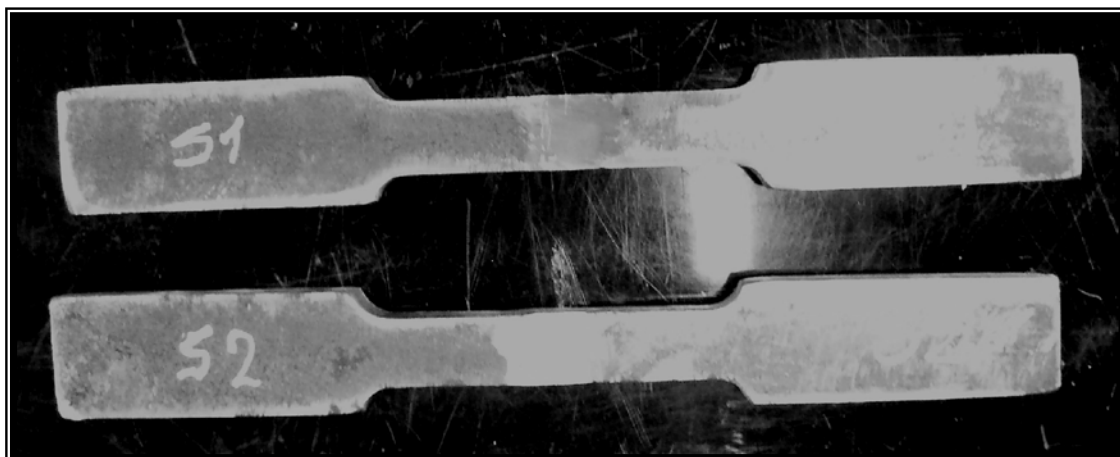



Foto 3: Probetas SMAW de tracción de sección reducida



Foto 4: Probeta FCAW 2, fractura dúctil en material base.

5.4.2 Ensayos de Dobleza de Lado: Se realizaron en el Laboratorio de la empresa NDT Engineering S.A.C. para ambos procesos de soldadura (SMAW y FCAW), cuyos resultados se presentan a continuación:

	ENSAYO DE DOBLEZ		INF. TEC. 621-ED-2009
	PARA CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA		Hoja 1 de 2
	SEGUN AWS D1.1/D1.1M:2008		Rev. 0
			Edición de Formato 02/03/2009

INFORME TECNICO N° 621-ED-2009

CLIENTE :
ATENCION :
ASUNTO : Ensayo de Dobleza de Lado
INSPECTOR : Guillermo Minchola Romero
FECHA DE EJECUCION : 21 de Agosto del 2009

1.- ANTECEDENTES

Se recibió una plancha de acero soldada, de la cual se extrajeron 04 probetas para realizar el ensayo de Dobleza de Lado.

2.- DE LA MUESTRA

Unión de 02 tipos de acero (ASTM A36 y T1 FORA 500)

Se identifico según el cliente como:

Probetas: S1, S2, S3 y S4

Soldador: Carlos Tuesta Ruiz


Proceso de soldadura: SMAW

WPS: TM-CC-219-09-002

Ensayos no Destructivos, Radiografía Industrial, Ultrasonido, Partículas Magnéticas, Tintes Penetrantes, Calibración de Espesores, Análisis de Falla, Metalografía no Destructiva, Durometría no Destructiva, Análisis Químico, Asesoría en Soldadura, Supervisiones, Calificación de Soldadores, Ensayos Mecánicos, Certificaciones, Pruebas Hidrostáticas, Neumáticas y de Vacío, Venta de Tintes Penetrantes.

Direcc: Of.: Calle Vesalio 725 San Borja Lima 41, Tel.: 475-5835 Cel.: 96573924 e-mail ndteng20005@yahoo.es
Laboratorio: Av Separadora Industrial 3038 Ate Vitarte, Tel/Fax 348-9502, RPM #551451

Figura 20: Reporte del Ensayo de Dobleza de Lado – Probeta SMAW

	ENSAYO DE DOBLEZ		INF. TEC. 621-ED-2009
	PARA CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA		Hoja 1 de 2
	SEGUN AWS D1.1/D1.1M:2008		Rev. 0
			Edición de Formato 02/03/2009

3.- PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Según código AWS D1.1/D1.1M:2008

4.- EQUIPOS UTILIZADOS

Equipo para prueba de doblez manual según AWS D1.1/D1.1M:2008 FIG 4.15 (Guided Bend Test Jigs) (Ver 4.8.3). Con equipo hidráulico de 12 toneladas.

5.- CONDICIONES DEL ENSAYO

Medio Ambiente

6.- RESULTADOS


Probeta	Espesor	Tipo de DobleZ	Angulo de Doblado	Observaciones	Condición
S1	10 mm	de Lado	180°	No presenta discontinuidades	ACEPTABLE
S2	10 mm	de Lado	180°	No presenta discontinuidades	ACEPTABLE
S3	10 mm	de Lado	180°	No presenta discontinuidades	ACEPTABLE
S4	10 mm	de Lado	180°	No presenta discontinuidades	ACEPTABLE


Guillermo G. Minchola Romero
 Nivel II SNT Tc - 1A RT, UT, MT

Ensayos no Destructivos, Radiografía Industrial, Ultrasonido, Partículas Magnéticas, Tintes Penetrantes, Calibración de Espesores, Análisis de Falla, Metalografía no Destructiva, Durometría no Destructiva, Análisis Químico, Asesoría en Soldadura, Supervisiones, Calificación de Soldadores, Ensayos Mecánicos, Certificaciones, Pruebas Hidrostáticas, Neumáticas y de Vacío, Venta de Tintes Penetrantes.

Direcc: Of.: Calle Vesalio 725 San Borja Lima 41, Tel.: 475-5835 Cel.: 96573924 e-mail ndteng20005@yahoo.es
 Laboratorio: Av Separadora Industrial 3038 Ate Vitarte, Tel/Fax 348-9502, RPM #551451

**Figura 20 (continuación): Reporte del Ensayo de DobleZ de Lado –
 Probeta SMAW**

	ENSAYO DE DOBLEZ		INF. TEC. 622-ED-2009
	PARA CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA		Hoja 1 de 2
	SEGUN AWS D1.1/D1.1M:2008		Rev. 0
			Edición de Formato 02/03/2009

INFORME TECNICO N° 622-ED-2009

CLIENTE

ATENCION

ASUNTO : Ensayo de Doblez de Lado

INSPECTOR : Guillermo Minchola Romero

FECHA DE EJECUCION : 21 de Agosto del 2009

1.- ANTECEDENTES

Se recibió una plancha de acero soldada, de la cual se extrajeron 04 probetas para realizar el ensayo de Doblez de Lado.

2.- DE LA MUESTRA

Unión de 02 tipos de acero (ASTM A36 y T1 FORA 500)

Se identifico según el cliente como:

Probetas: F1, F2, F3 y F4

Soldador: Carlos Tuesta Ruiz


Proceso de soldadura: FCAW

WPS: TM-CC-219-09-006

Ensayos no Destructivos, Radiografía Industrial, Ultrasonido, Partículas Magnéticas, Tintes Penetrantes, Calibración de Espesores, Análisis de Falla, Metalografía no Destructiva, Durometría no Destructiva, Análisis Químico, Asesoría en Soldadura, Supervisiones, Calificación de Soldadores, Ensayos Mecánicos, Certificaciones, Pruebas Hidrostáticas, Neumáticas y de Vacío, Venta De Tintes Penetrantes.

Direcc: Of.: Calle Vesalio 725 San Borja Lima 41, Tel.: 475-5835 Cel.: 96573924 e-mail ndteng20005@yahoo.es
Laboratorio: Av Separadora Industrial 3038 Ate Vitarte, Tel/Fax 348-9502, RPM #551451

Figura 21: Reporte del Ensayo de Doblez de Lado – Probeta FCAW

	ENSAYO DE DOBLEZ		INF. TEC. 622-ED-2009
	PARA CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA		Hoja 1 de 2
	SEGUN AWS D1.1/D1.1M:2008		Rev. 0
			Edición de Formato 02/03/2009

3.- PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Según código AWS D1.1/D1.1M:2008

4.- EQUIPOS UTILIZADOS

Equipo para prueba de doblez manual según AWS D1.1/D1.1M:2008 FIG 4.15 (Guided Bend Test Jigs) (Ver 4.8.3). Con equipo hidráulico de 12 toneladas.

5.- CONDICIONES DEL ENSAYO

Medio Ambiente

6.- RESULTADOS

Probeta	Espesor	Tipo de DobleZ	Angulo de Doblado	Observaciones	Condición
F1	10 mm	de Lado	180°	No presenta discontinuidades	ACEPTABLE
F2	10 mm	de Lado	180°	No presenta discontinuidades	ACEPTABLE
F3	10 mm	de Lado	180°	No presenta discontinuidades	ACEPTABLE
F4	10 mm	de Lado	180°	No presenta discontinuidades	ACEPTABLE

NDT ENGINEERING SAC


Guillermo G. Minchola Romero
Nivel II SNT TC - 1A/RT, UT, MT

Ensayos no Destructivos, Radiografía Industrial, Ultrasonido, Partículas Magnéticas, Tintes Penetrantes, Calibración de Espesores, Análisis de Falla, Metalografía no Destructiva, Durometría no Destructiva, Análisis Químico, Asesoría en Soldadura, Supervisiones, Calificación de Soldadores, Ensayos Mecánicos, Certificaciones, Pruebas Hidrostáticas, Neumáticas y de Vacío, Venta de Tintes Penetrantes.

Dirección: Of.: Calle Vesalio 725 San Borja Lima 41, Tel.: 475-5835 Cel.: 96573924 e-mail ndteng20005@yahoo.es
Laboratorio: Av Separadora Industrial 3038 Ate Vitarte, Tel/Fax 348-9502, RPM #551451


**Figura 21 (continuación): Reporte del Ensayo de DobleZ de Lado –
Probeta FCAW**



Foto 5: Probetas ya ensayada con doblado de lado. Se puede notar que el acero T1 FORA 500 no se dobla fácilmente en comparación con el acero ASTM A36

5.4.3 Ensayos de Radiografía Industrial: Se realizaron en el Laboratorio de la empresa NDT Engineering S.A.C. para ambos procesos de soldadura (SMAW y FCAW), cuyos resultados se presentan a continuación:



REPORTE DE EVALUACIÓN RADIOGRÁFICA							
REPORTE N°	623-01-RT/09	PAG	01	DE	01	PROCEDIMIENTO:	NDT-AWS-RT001-09
SOLICITADO POR	TECNICAS METALICAS INGENIEROS S.A.C.						
COMPONENTE EVALUADO	PROBETA PARA CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA – POS. 1G (CARLOS TUESTA RUIZ)						
MATERIAL	ASTM A36 – T1	PELÍCULA	AGFA D7 con Pb		T. EXPOSICION	34 seg.	
ESPEJOR	12,7 mm	DIMENSIONES	70 x 200 mm		CAL RADIOG.	CALIDAD II	
FUENTE/Ci	GAMMA / 76 Ci	PANTALLA	0.027 mm Pb		IND. CAL. IMAGEN	1 ASTM B	
RADIAC. A	PARED SIMPLE	DENSIDAD	2.0 – 4.0		POSICIÓN ICI	LADO FUENTE	
TAMAÑO FOCAL	3.88 mm	DISTANCIA F/P	350 mm.		CODIGO/NORMA	AWS D1.1/D1.1M:2008	
IDENTIFICACIÓN		INDICACIONES		CALIFICACIÓN		OBSERVACIONES	
1	C.T.R. POS.1G - SMAW						
2		P1			ACEPTABLE		
3		P2			ACEPTABLE		
4		P3	Ac		ACEPTABLE		
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
NOMENCLATURA DE INDICACIONES							
Aa: Porosidad agrupada		Bb: Escoria alineada		Ea: Fisura longitudinal		I : Cordón Irregular	
Ab: Porosidad alineada		Bc: Escoria agrupada		Eb: Fisura transversal		K: Quemón	
Ac: Porosidad aislada		C : Falta de fusión		Fa: Socavado interno.		L : Defecto de película	
Ba: Escoria aislada		D : Penetración incompleta		Fb : Socavado externo		T : Inclusiones de tungsteno	
Rc: Raíz cóncava						H : Hight-Low	
LUGAR Y FECHA DE EJECUCIÓN		INSPECTOR END			SUPERVISOR END		
LIMA, 31 DE JULIO DEL 2009		 NDT ENGINEERING SAC Guillermo G. Minchols Romero Nivel II/SNT TC - 1A RT, UT, MT					

Dirección: Of: Calle Vesalio 725 San Borja Telf: 990071853 RPM #309481 e-mail: ndteng2005@yahoo.es
 Laboratorio: Av. Separadora Industrial N° 3034- 3038 Ate- Vitarte Tele/fax 348-9502 / 3487337 e-mail: administración@ndtperu.com

Figura 22: Reporte del Ensayo de Radiografía – Probeta SMAW



NDT ENGINEERING S.A.C.

INGENIERÍA DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

REPORTE DE EVALUACIÓN RADIOGRÁFICA						
REPORTE N°	624-01-RT/09	PAG	01	DE	01	PROCEDIMIENTO: NDT-AWS-RT001-09
SOLICITADO POR						
COMPONENTE EVALUADO PROBETA PARA CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA – POS. 1G (CARLOS TUESTA RUIZ)						
MATERIAL	ASTM A36 – T1	PELÍCULA	AGFA D7 con Pb		T. EXPOSICION	34 seg.
ESPEJOR	12,7 mm	DIMENSIONES	70 x 200 mm		CAL RADIOG.	CALIDAD II
FUENTE/Ci	GAMMA / 76 Ci	PANTALLA	0.027 mm Pb		IND. CAL. IMAGEN	1 ASTM B
RADIAC. A	PARED SIMPLE	DENSIDAD	2.0 – 4.0		POSICIÓN ICI	LADO FUENTE
TAMAÑO FOCAL	3.88 mm	DISTANCIA F/P	350 mm.		CODIGO/NORMA	AWS D1.1/D1.1M:2008
IDENTIFICACIÓN		INDICACIONES		CALIFICACIÓN		OBSERVACIONES
1	C.T.R. POS.1G - FCAW					
2	P1			ACEPTABLE		
3	P2	Ac		ACEPTABLE		
4	P3	Ba		ACEPTABLE		
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
NOMENCLATURA DE INDICACIONES						
Aa: Porosidad agrupada		Bb: Escoria alineada		Ea: Fisura longitudinal		I : Cordón Irregular
Ab: Porosidad alineada		Bc: Escoria agrupada		Eb: Fisura transversal		K : Quemón
Ac: Porosidad aislada		C : Falta de fusión		Fa: Socavado interno.		L : Defecto de película
Ba: Escoria aislada		D : Penetración incompleta		Fb : Socavado externo		T : Inclusiones de tungsteno
Rc: Raíz cóncava						H : High-Low
LUGAR Y FECHA DE EJECUCIÓN		INSPECTOR END			SUPERVISOR END	
LIMA, 31 DE JULIO DEL 2009		NDT ENGINEERING SAC Guillermo G. Minchoza Romero Nivel II SNT TC - 1A RT, UT, MT				

Dirección: Of: Calle Vesalio 725 San Borja Telf: 990071853 RPM #309481 e-mail: ndteng2005@yahoo.es
 Laboratorio: Av. Separadora Industrial N° 3034- 3038 Ate- Vitarte Tele/fax 348-9502 / 3487337 e-mail: administración@ndtperu.com


Figura 23: Reporte del Ensayo de Radiografía – Probeta FCAW

5.4.4 Elaboración del Registro de Calificación de Procedimiento

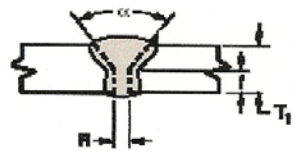
Después de realizados todos los Ensayos Destructivos (Tracción y Doble de Lado) y los Ensayos No Destructivos (Inspección Visual, Radiografía Industrial), se procede a analizar los resultados obtenidos y a aplicar los criterios de aceptación que el Código Estructural AWS D1.1/D1.1M:2008 establece para cada uno de los ensayos realizados y determinar si los procedimientos de soldadura elaborados cumplen con todos los requerimientos y son aceptables.

Con todos los resultados de los ensayos realizados se procede a elaborar el Registro de Calificación de Procedimiento (PQR) , que es el documento que va a dar validez al Procedimiento de Soldadura (WPS) y nos permite poder utilizar dicho procedimiento de soldadura en la fabricación de determinada estructura.

A continuación se muestra los dos Registros de Calificación de Procedimiento (PQR) elaborados para cada uno de los proceso de soldadura propuestos (SMAW y FCAW).

	REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR) DE ACUERDO A STRUCTURAL WELDING CODE STEEL AWS D1.1/D1.1M:2008	NDTPS026/09	
		Hoja	1 de 2
		Rev.	0
		Edición de Formato	26/04/08


ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) Si <input type="checkbox"/> PRECALIFICADO _____ CALIFICADO POR PRUEBA _____ O REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR) Si <input checked="" type="checkbox"/>	
Nombre de la Compañía: Proceso(s) de soldadura: SMAW Soporte PQR N°(s): TM-PQR-219-09-002	Identificación # TM-CC-219-09-002 Revisión 0 Fecha 27/08/09 Autorizado por Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semi-automático <input type="checkbox"/> Máquina <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/>
DISEÑO DE LA JUNTA USADA Tipo: Junta a Tope – Bisel Simple – Soldadura de Canal Simple <input checked="" type="checkbox"/> Doble <input type="checkbox"/> Respaldo: Sí <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Material de respaldo: ----- Abertura de raíz: 3 mm Dimensión cara raíz: 3 mm Ángulo de bisel: 60° Radios (J-U): --- Soldadura de respaldo Sí <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Método: -----	POSICIÓN Posición a tope: Plana Filete: ----- Progresión vertical: Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>
METAL BASE Especificación del material: ASTM A36 – ASTM A514 (T1) Tipo o Grado: FORA 500 Espesor: A tope 12,7 mm Filete: ---- Diámetro (tubo): ---	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Modo de transferencia (GMAW) Cortocircuito <input type="checkbox"/> Globular <input type="checkbox"/> Pulverizado <input type="checkbox"/> Corriente: CA <input type="checkbox"/> CCEP <input checked="" type="checkbox"/> CCEN <input type="checkbox"/> Pulsado <input type="checkbox"/> Otro ----- Electrodo de Tungsteno (GTAW): Tamaño: ----- Tipo: -----
METAL DE APORTE Especificación AWS: A5.1 Clasificación AWS: E-7018	TÉCNICA Arrastre u oscilación: Arrastre y oscilación Pasada simple o múltiple (por cara): Pasada Múltiple Número de electrodos: Simple Espaciado de electrodos: Longitudinal: ----- Lateral: ----- Ángulo: ----- Distancia de contacto del tubo a la pieza de trabajo: ----- Forjado: ----- Limpieza entre pasadas: Escobillado
PROTECCIÓN Fundente: _____ Gas: _____ Composición _____ Fundente-electrodo (clase): Ratio de alimentación: _____ Tamaño de la copa: _____	TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Temperatura: N.A. Tiempo: -----
PRECALENTAMIENTO Temperatura de precalentamiento, mínima 160 °C Temperatura entre pases, mínima 160 °C	

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA								Detalles de la Junta 
Pase o capa (s)	Proceso	Metal de aporte		Corriente		Voltaje	Velocidad de avance (cm/min)	
		Clase	Diám. (mm)	Tipo y polaridad	Amperaje			
1	SMAW	E-7018	3.2	DC (+)	95	22	9,5	
2 @ 6	SMAW	E-7018	3.2	DC (+)	135	23	12,5	

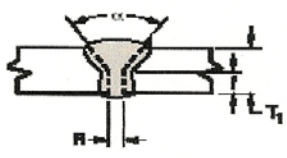
Ensayos no destructivos, Radiografía Industrial, Ultrasonido, Partículas Magnéticas, Tintes Penetrantes, Calibración de Espesores, Analisis de Falla, Metalografía no destructiva, Durometría no destructiva, Analisis Químico, Asesoría en Soldadura, Supervisiones, Calificación de Soldadores, Ensayos Mecánicos, Certificaciones, Pruebas Hidrostáticas, Neumáticas y de Vacío, Venta De Tintes Penetrantes.

Direcc: Of.: Calle Vesalio 725 San Borja Lima 41, Tel.: 475-5835 Cel.: 96573924 e-mail ndteng20005@yahoo.es Laboratorio: Av Separadora Industrial 3038 Ate Vitarte, Tel/Fax 348-9502, RPM #551451

Figura 24: Registro de Calificación de Procedimiento – Probeta SMAW

	REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR) DE ACUERDO A STRUCTURAL WELDING CODE STEEL AWS D1.1/D1.1M:2008	NDTPS026/09	
		Hoja	1 de 2
		Rev.	0
		Edición de Formato	26/04/08


ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) <input type="checkbox"/> PRECALIFICADO <input type="checkbox"/> CALIFICADO POR PRUEBA <input type="checkbox"/> O REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR) <input checked="" type="checkbox"/>	
Nombre de la Compañía: Proceso(s) de soldadura: <i>FCAW</i> Soporte PQR N°(s): <i>TM-PQR-219-09-006</i>	Identificación # <i>TM-CC-219-09-006</i> Revisión <i>0</i> Fecha <i>27/08/09</i> Autorizado por Tipo: Manual <input type="checkbox"/> Semi-automático <input checked="" type="checkbox"/> Máquina <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/>
DISEÑO DE LA JUNTA USADA Tipo: <i>Junta a Tope – Bisel Simple – Soldadura de Canal</i> Simple <input checked="" type="checkbox"/> Doble <input type="checkbox"/> Respaldo: Sí <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Material de respaldo: ----- Abertura de raíz: <i>2 mm</i> Dimensión cara raíz: <i>2 mm</i> Ángulo de bisel: <i>60°</i> Radios (J-U): --- Soldadura de respaldo Sí <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Método: <i>Remove la soldadura con esmeril</i>	POSICIÓN Posición a tope: <i>Plana</i> Filete: ----- Progresión vertical: Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>
METAL BASE Especificación del material: <i>ASTM A36 – ASTM A514 (T1)</i> Tipo o Grado: <i>FORA 500</i> Espesor: A tope <i>12,7 mm</i> Filete: ----- Diámetro (tubo): -----	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Modo de transferencia (GMAW) Cortocircuito <input type="checkbox"/> Globular <input type="checkbox"/> Pulverizado <input type="checkbox"/> Corriente: CA <input type="checkbox"/> CCEP <input checked="" type="checkbox"/> CCEN <input type="checkbox"/> Pulsado <input type="checkbox"/> Otro ----- Electrodo de Tungsteno (GTAW): Tamaño: ----- Tipo: -----
METAL DE APORTE Especificación AWS: <i>A5.20</i> Clasificación AWS: <i>E-71T-1</i>	TÉCNICA Arrastre u oscilación: <i>Oscilación</i> Pasada simple o múltiple (por cara): <i>Pasada Múltiple</i> Número de electrodos: <i>Simple</i> Espaciado de electrodos: Longitudinal: ----- Lateral: ----- Ángulo: ----- Forjado: ----- Limpieza entre pasadas: <i>Esmerilado y Escobillado</i>
PROTECCIÓN Fundente: ----- Gas: <i>Ar + CO2</i> Composición: <i>80% + 20%</i> Fundente-electrodo (clase): ----- Ratio de alimentación: <i>28 L/min</i> Tamaño de la copa: -----	TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA Temperatura: <i>N.A.</i> Tiempo: -----
PRECALENTAMIENTO Temperatura de precalentamiento, mínima <i>160 °C</i> Temperatura entre pases, mínima <i>160 °C</i>	

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA								Detalles de la Junta
Pase o capa (s)	Proceso	Metal de aporte		Corriente		Voltaje	Velocidad de avance (cm/min)	
		Clase	Diám. (mm)	Tipo y polaridad	Amperaje			
1	FCAW	E-71T-1	1,6	DC (+)	160	22	15,0	 <p> <i>R = 2,0 mm f = 2,0 mm</i> <i>T1 = 12,7 mm</i> <i>α = 60°</i> </p>
2	FCAW	E-71T-1	1,6	DC (+)	250	24	25,0	
3 @ 6	FCAW	E-71T-1	1,6	DC (+)	290	25	30,0	

Ensayos no Destructivos, Radiografía Industrial, Ultrasonido, Partículas Magnéticas, Tintes Penetrantes, Calibración de Espesores, Analisis de Falla, Metalografía no Destructiva, Durometría no Destructiva, Analisis Químico, Asesoría en Soldadura, Supervisiones, Calificación de Soldadores, Ensayos Mecánicos, Certificaciones, Pruebas Hidrostaticas, Neumaticas y de Vacío, Venta De Tintes Penetrantes.

Direcc: Of.: Calle Vesalio 725 San Borja Lima 41, Tel.: 475-5835 Cel.: 96573924 e-mail ndteng20005@yahoo.es Laboratorio: Av Separadora Industrial 3038 Ate Vitarte, Tel/Fax 348-9502, RPM #551451

Figura 25: Registro de Calificación de Procedimiento – Probeta FCAW

	REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR) DE ACUERDO A STRUCTURAL WELDING CODE STEEL AWS D1.1/D1.1M:2008	NDTPS026/09	
		Hoja	2 de 2
		Rev.	0
		Edición de Formato	26/04/08

Registro de Calificación de Procedimiento (PQR) # **TM-PQR-219-09-006**
Resultados de Pruebas

ENSAYO DE TRACCION

Espécimen No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)	Carga Máxima de Tracción (kN)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Característica de rotura y ubicación
F1	20,09	12,33	247,7	147,5	595	Rotura Dúctil - Rompió en Metal Base (A36)
F2	20,27	12,29	249,1	149,2	599	Rotura Dúctil - Rompió en Metal Base (A36)

PRUEBA DE DOBLEZ GUIADO

Espécimen No.	Tipo de doblez	Resultado	Observaciones
F1	De Lado	No presenta discontinuidades	Aceptable
F2	De Lado	No presenta discontinuidades	Aceptable

INSPECCION VISUAL

Apariencia: Aceptable
 Socavación: Aceptable
 Porosidad: Ninguna
 Convexidad: Aceptable
 Fecha de prueba: 10 de Agosto del 2009
 Presenciada por:

Prueba Radiográfica-Ultrasonica

Reporte RT No.: 624-01-RT/09 Resultados: Aceptable
 Reporte UT No.: Resultados:

RESULTADOS DE PRUEBA DE SOLDADURA EN FILETE

Tamaño mínimo múltiples pases	Tamaño mínimo pasada simple
Macroataque	Macroataque
1. ----	1. ----
2. ----	2. ----

Prueba de tracción de soldadura

Esfuerzo tracción -----
 Esfuerzo/Punto de fluencia -----
 Elongación en 2" (%) -----
 Test de laboratorio No.: -----

Nombre del soldador: Carlos Tuesta Ruiz
 Prueba conducida por: PUCP/ NDT Engineering SAC

Estampa C.T.R.
 Laboratorio Lab. De Materiales / NDT Engineering SAC
 Numero de Test
 Por

Nosotros, los abajo firmantes, certificamos que lo indicado en este registro es correcto y que las probetas han sido preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo a los requerimientos de la sección 4 de ANSI/AWS D1.1/D1.1M-2008 Código Estructural - Acero

Fecha: 28/08/09

Ensayos no Destructivos, Radiografía Industrial, Ultrasonido, Partículas Magnéticas, Tintes Penetrantes, Calibración de Espesores, Analisis de Falla, Metalografía no Destructiva, Durometría no Destructiva, Analisis Químico, Asesoría en Soldadura, Supervisiones, Calificación de Soldadores, Ensayos Mecánicos, Certificaciones, Pruebas Hidrostáticas, Neumáticas y de Vacío, Venta de Tintes Penetrantes.

Direcc: Of.: Calle Vesalio 725 San Borja Lima 41, Tel.: 475-5835 Cel.: 96573924 e-mail ndteng20005@yahoo.es Laboratorio: Av Separadora Industrial 3038 Ate Vitarte, Tel/Fax 348-9502, RPM #551451

**Figura 25 (continuación): Registro de Calificación de Procedimiento –
Probeta FCAW**

CAPITULO VI

ANÁLISIS DE COSTOS DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA

Para el análisis económico de los procesos de soldadura hay que tomar en cuenta de manera general los siguientes factores:

- Tiempo de preparación de la junta soldar.
- Tiempo de ensamble.
- Tiempo de punteo o armado.
- Tiempo de posicionamiento.
- Tiempo de soldadura.
- Tiempo de parada, en donde se considera los tiempo del cambio del electrodo, tiempo de movilización de estación, tiempo de cambio de los parámetros de soldadura, etc.
- Tiempo de limpieza.
- Tiempo de desensamble.
- Tiempo de alivio de tensiones.
- Costo del electrodo.
- Costo de los materiales protectores.
- Costo de la potencia eléctrica.
- Costo de los activos fijos (Overhead).

En algunos casos ciertos factores no son considerados en la ejecución de la soldadura, porque no son necesarios en el proceso de soldadura.

Como se puede observar en el listado de los factores que intervienen en este análisis existen muchos factores que se encuentran relacionados

con el tiempo, y no son necesariamente tiempo de arco, ya que se tiene el tiempo de cambio de electrodo, esmerilado, remoción de escoria, etc. El tiempo total de horas de trabajo siempre es mayor que el tiempo de soldeo, entonces la relación entre el tiempo de arco (T_u) y tiempo de parada (T_m), se denomina factor de operación (OF) y viene dado por la siguiente fórmula:

$$FO = \frac{T_u}{T_u + T_m}$$

Donde:

FO: Factor de Operación

T_u : Tiempo de arco o Tiempo útil

T_m : Tiempo de parada o tiempo muerto

El resultado viene expresado de forma porcentual.

La ecuación que determina el Costo Total en los procesos de soldadura es la siguiente:

$$\text{Costo Total} = MO + F + W$$

Donde:

MO es un factor determinado por la compañía en la cual se considera los costos de la mano de obra y los equipos a utilizarse.

F es el valor de los consumibles que serán empleados en el proceso de soldadura.

W es el costo de la potencia eléctrica empleado en el proceso de soldar.

Fórmula para establecer el factor MO:

$$MO = \frac{\text{Cantidad de depósito (kg)} \times \text{Costo mano de obra (\$/h)}}{\text{Velocidad de depósito (kg/h)} \times FO}$$

Para obtener el factor F donde se toman en cuenta todos los consumibles,

este factor viene dado por siguiente ecuación:

$$F = C_e \times L \times P_e$$

Donde:

C_e : Consumo de electrodos por metro de soldadura (kg/m)

L : Longitud total de soldadura en metros (m)

P_e : Precio de electrodo (\$/kg)

Para los procesos SMAW y FCAW el análisis de costo de los productos de protección no es considerado, ya que en los precios del electrodo se toma en cuenta el fundente, en el consumo de electrodo por metro de soldadura hay que considerar la eficiencia del depósito del material de soldadura, la eficiencia del depósito nos indica, los kilogramos de material depositado por cada kilogramo de electrodo, para el proceso de electrodo revestido (SMAW) la eficiencia del depósito es de aproximadamente del 60% al 70%, en cambio para el proceso de alambre tubular con gas protector (FCAW-G) la eficiencia del depósito es del 80% al 85%.

La potencia se la puede calcular de forma que el tiempo de encendido de la maquina por la potencia de consumo del equipo por el precio de la potencia y el tiempo del equipo encendido.

Para este análisis solo se considerará los costos de soldadura (material) y de la mano de obra que son los que tienen mayor relevancia. La longitud de soldadura por el área de la sección del cordón de soldadura nos da un volumen de soldadura. Este volumen puede ser expresado en kg de soldadura que es lo que nos interesa, lo cual hace que nuestro requerimiento de soldadura para nuestro caso sea de 13,7 kg.

6.1 Cálculo del Costo de Soldadura:

		PROCESO DE SOLDEO	
		SMAW	FCAW
Kilos Aportados	kg.	13.7	13.7
Eficiencia del proceso	%	0.65	0.8
Kilos Adquiridos	kg.	21.08	17.13
Precio soldadura	\$/kg	4	7
Costo soldadura	\$	84.31	119.88
Velocidad del Proceso	kg/h	1.5	4.5
Tiempo de deposito	h	14.05	3.81
Factor de operación	%	0.25	0.35
Tiempo real de deposito	h	56.21	10.87
Salario del soldador	\$/h	3	5
Costo mano de obra	\$	168.62	54.37
COSTO TOTAL	\$	252.92	174.24

Tabla 15: Costos de Soldadura

De esta forma podemos observar que el proceso de soldar FCAW es más económico que el proceso SMAW. Aunque los equipos de soldar y la mano de obra sean más costosos, estos parámetros influyen muy poco en el análisis de costos total.

OBSERVACIONES

- En el ensayo de tracción realizado a las 02 probetas se observó que la fractura se dio en el material base de menor resistencia (ASTM A36).
- Durante el ensayo de doblado se pudo observar que el acero T1 FORA 500 no se dobla fácilmente (debido a su alta resistencia y baja ductilidad) en comparación con el acero ASTM A36, notándose el doblado pronunciado en el material con menos resistencia mecánica pero con mayor ductilidad (ASTM A36).
- En los ensayos destructivos de tracción y de doblado se pudo observar que el material base ASTM A36 fue el que presentó mayor deformación, tanto de rotura como de elongación.
- Las placas radiográficas tomadas mostraron que en ambas probetas se encontraron porosidades pero que por su tamaño eran aceptables según el Código AWS D1.1/D1.1M:2008.
- Aplicando la Temperatura de Pre calentamiento que se obtuvo según los cálculos realizados con el Método de la AWS D1.1/D1.1M:2008 se observa que se puede llegar a cumplir con las condiciones de servicio establecido en dicho Código.
- En la Tabla 15 se puede apreciar la diferencia entre ambos procesos de soldeo relacionados a costos de producción ya que esto conllevará a tomar la decisión de que proceso se utilizara para realizar la reparación del componente.
- Se observa que el proceso de soldeo FCAW-G es más económico que el proceso SMAW, aunque los equipos de soldar y

la mano de obra sea más costosa, estos parámetros influyen muy poco en el análisis de costos total.

CONCLUSIONES

- El proceso de soldadura FCAW-G es más rápido que el proceso SMAW proporcionando mayor cantidad de material depositado en la junta soldada, por lo que el tiempo de ejecución de las juntas es menor que con el proceso de soldadura por electrodo revestido.
- Los resultados obtenidos en los ensayos destructivos (Tracción y Doblez de Lado) para las probetas SMAW y FCAW, cumplieron con el criterio de aceptación que el Código AWS D1.1/D1.1M:2008 establece.
- Los resultados obtenidos en los ensayos no destructivos (Inspección Visual y Radiografía Industrial) para ambas probetas también cumplieron con los criterios de aceptación que el Código AWS D1.1/D1.1M:2008 establece.
- Los Ensayo No Destructivos y Destructivos realizados para ambas probetas dan conformidad con los criterios de aceptación, tales como sanidad, resistencia mecánica, defectos superficiales, discontinuidades, etc., por lo que se concluye que ambos procedimientos de soldadura propuestos son adecuados para realizar la reparación del chute de descarga.
- De lo analizado se demuestra que la aplicación de los ensayos destructivos y no destructivos tienen un rol gravitante como

herramienta fundamental para la calificación del procedimiento de soldadura y del control de calidad de las uniones soldadas.

- Basándonos en los resultados de los ensayos obtenidos, los 2 procedimientos de soldadura propuestos son adecuados para realizar la reparación, pero además hay que considerar los resultados del análisis de costos realizado; por lo que se concluye que el proceso y el procedimiento de soldadura más confiable y menos costoso para realizar la reparación del chute de descarga es el Proceso FCAW-G.
- En general los E.N.D. proveen datos menos exactos acerca del estado de la variable a medir que los ensayos destructivos. Sin embargo, suelen ser más baratos para el propietario de la pieza a examinar, ya que no implican la destrucción de la misma. En ocasiones los ensayos no destructivos buscan únicamente verificar la homogeneidad y continuidad del material analizado, por lo que se complementan con los datos provenientes de los ensayos destructivos.

RECOMENDACIONES

- Durante la realización de la soldadura de reparación se deben de controlar los parámetros establecidos y aprobados en el procedimiento para obtener soldaduras adecuadas y libres de defectos en conformidad con el código.
- Los parámetros más controlados deben ser la temperatura de precalentamiento, velocidad de avance y la altura de la sobremonta de la soldadura. Estas variables son importantes desde el punto de vista metalúrgico porque si un soldador no controla estas variables podríamos obtener múltiples problemas por ejemplo si la temperatura de calentamiento es menor a la indicada en el procedimiento de

soldadura, la velocidad de enfriamiento de la unión soldada será mayor y eso generara la formación de estructuras frágiles (martensita) produciendo fisuras tanto en soldadura como en la ZAC; así como una excesiva sobremonta puede fragilizar la soldadura debido a los altos esfuerzos que se concentran en dicha sobremonta.

- Un avance muy lento de la soldadura puede ocasionar fragilización de las zonas térmicamente afectadas por el sobrecalentamiento.
- Un avance muy acelerado puede ocasionar faltas de fusión debido a que se depositaría cordones de soldadura muy delgados cuyo enfriamiento sería muy rápido sin tener tiempo de fundirse con las paredes del bisel del metal base, solidificándose rápidamente y generando este defecto.
- La aplicación de los ensayos no destructivos nos permite detectar y corregir a tiempo múltiples errores en las uniones de soldadura no conformes con los criterios de aceptación del código aplicado.
- Los conocimientos de ingeniería metalúrgica aplicados en soldadura e inspecciones, permiten resolver los problemas que se presentan en una unión soldada.
- La aplicación de los conceptos metalúrgicos en la solución de los problemas que se presente durante la realización de una unión soldada, nos han permitido comprender que el campo de aplicación de la ingeniería, metalúrgica se extiende hacia áreas inexploradas en donde se pensaría erróneamente que un profesional de esa especialidad no tendría competencia, sin embargo con este informe se demuestra lo contrario dando fin a los antiguos paradigmas que limitan profesionalmente a los ingenieros metalurgistas a desarrollarse en un determinado sector.

- Dada la importancia de la aplicación del control de calidad en las fabricaciones por soldadura en general, es necesario contar con herramientas, como los ensayos no destructivos que nos permitirán diagnosticar adecuadamente los múltiples problemas metalúrgicos que podrían presentarse.
- No es suficiente saber acerca de la existencia de herramientas como los ensayos destructivos y no destructivos, los ingenieros metalurgistas debemos ser profesionales activos en la capacitación y actualización permanente en las diversas áreas de nuestra especialidad y ser considerados como los más calificados e idóneos en la aplicación de los mismos.
- Es necesario desarrollar nuevos cursos con un enfoque innovador hacia la metalurgia física que comprendan las áreas de soldadura, inspecciones, control de calidad y que motiven al futuro profesional a orientarse hacia esta área que presenta grandes oportunidades de desarrollo poco exploradas, sin embargo existen grandes proyectos en ejecución que requieren profesionales idóneos y calificados pero lamentablemente son pocos los profesionales que se están perfilando para cubrir esta necesidad. Cabe señalar que esta demanda se ira incrementando debido a los grandes proyectos que se irán ejecutando a mediano y largo plazo.
- Es propicio dar a conocer que existen en el exterior certificaciones a las que puede acceder el ingeniero metalurgista que le permitirán desarrollarse profesionalmente, compitiendo al mismo nivel que un profesional extranjero. Es necesario que las universidades nacionales tengan convenios con estas entidades extranjeras, para que los profesionales del área puedan acceder a estas certificaciones en nuestro país.

BIBLIOGRAFIA

1. Enciclopedia de la Soldadura, Tomo III
Community Collage, Universidad del Estado de Nueva York Henry
Horwitz, Dutchess
2. Manual del Soldador. 18ava Edición.
Germán Hernández Riesco
3. Introducción a la Metalurgia de la Soldadura. 7ma Edición
Dr. Carlos Fosca Pastor
4. Técnica y Práctica de la Soldadura
Joseph W. Giachino y William Weeks
5. Metalurgia de la Soldadura.
Editorial Tecnos S.A. Madrid España
Daniel Seferian.
6. Modulo II - Metalurgia de la Soldadura
Curso de Especialización en Ingeniería de Soldadura INGESOLD -
PUCP.
7. Modulo IV - Fabricación por Soldadura
Curso de Especialización en Ingeniería de Soldadura INGESOLD -
PUCP.
8. Curso Taller “Control de Calidad de Uniones Soldadas”
Programa de Formación Inspector de Soldadura
INSPECSOLD – PUCP.
9. ANSI/AWS D1.1/D1.1M : 2008 Structural Welding Code – Steel

ANEXOS

ANEXO 01:

- **Tabla 4.1: Calificación de WPS – Posiciones de Soldadura de Producción Calificadas para Ensayos de Chapa, Tubo y Tubo de Sección Circular o Rectangular.**

Extraído del ANSI/AWS D1.1/D1.1M : 2008 Structural Welding Code – Steel.

Table 4.1
WPS Qualification—Production Welding Positions Qualified by Plate, Pipe, and Box Tube Tests (see 4.3)

Qualification Test		Production Plate Welding Qualified				Production Pipe Welding Qualified				Production Box Tube Welding Qualified					
		Groove		Fillet ¹		Butt-Groove		T-, Y-, K-Groove		Butt-Groove		T-, Y-, K-Groove			
		CJP	PJP	F	Fillet ¹	CJP	PJP	CJP	PJP	CJP	PJP	CJP	PJP		
P L A T E	CJP Groove ^a	1G	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F			
		2G	F, H	F, H	F, H	F, H	F, H	F, H	F, H	F, H	F, H	F, H	F, H		
		3G	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V		
		4G	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH		
T U B E	Fillet ^a	1F		F	F		F		F		F				
		2F		F, H	F, H		F, H		F, H		F, H				
		3F		V	V		V		V		V				
		4F		OH	OH		OH		OH		OH				
T U B U L A R	Plug/ Slot	Qualifies Plug/Slot Welding for Only the Positions Tested	1G Rotated	F	F	F ^c	F	F	F ^c	F	F	F	F		
			2G	F, H	F, H	(F, H) ^c	F, H	F, H	(F, H) ^c	F, H	F, H	F, H	F, H		
			5G	F, V, OH	F, V, OH	(F, V, OH) ^c	F, V, OH	F, V, OH	(F, V, OH) ^c	F, V, OH	F, V, OH	F, V, OH	F, V, OH		
			2G + 5G)	All	All	All ^c	All	All	All ^c	All	All	All ^c	All	All	
				All	All	All ^c	All	All	All ^c	All	All	All ^c	All	All	
			6G	All	All	All ^c	All	All	All ^c	All	All	All ^c	All	All	
			6GR	All ^d	All	All ^d	All	All	All ^d	All	All	All ^d	All	All	
			1F Rotated		F									F	
			2F		F, H									F, H	
			2F Rotated		F, H										F, H
					F, H, OH										F, H, OH
			4F		All									All	
			5F											All	

CJP—Complete Joint Penetration

PJP—Partial Joint Penetration

^a Qualifies for a welding axis with an essentially straight line, including welding along a line parallel to the axis of circular pipe.

^b Qualifies for circumferential welds in pipes equal to or greater than 24 in. [600 mm] nominal outer diameter.

^c Production butt joint details without backing or backgouging require qualification testing of the joint detail shown in Figure 4.25(A).

^d Limited to prequalified joint details (see 3.12 or 3.13).

^e For production joints of CJP T-, Y-, and K-connections that conform to either Figure 3.8, 3.9, or 3.10 and Table 3.6, use Figure 4.27 detail for testing. For other production joints, see 4.12.4.1.

^f For production joints of PJP T-, Y-, and K-connections that conform to Figure 3.5, use either the Figure 4.25(A) or Figure 4.25(B) detail for testing.

^g For matched box connections with corner radii less than twice the chord member thickness, see 3.12.4.1.

^h Fillet welds in production T-, Y-, or K-connections shall conform to Figure 3.2. WPS qualification shall conform to 4.11.

ANEXO 02:

- **Tabla 4.2: Calificación de WPS – Soldaduras con Bisel CJP:
Cantidad y Tipo de las Probetas de Ensayo. Rango de Espesor y
Diámetro Calificado
Extraído del ANSI/AWS D1.1/D1.1M : 2008 Structural Welding
Code – Steel.**

Table 4.2
WPS Qualification—CJP Groove Welds: Number and Type of Test Specimens and Range of Thickness and Diameter Qualified (see 4.4) (Dimensions in Millimeters)

1. Tests on Plate^{a, b}

Nominal Plate Thickness (T) Tested, mm	Number of Specimens				Nominal Plate, Pipe or Tube Thickness ^{c, d} Qualified, mm	
	Reduced Section Tension (see Fig. 4.14)	Root Bend (see Fig. 4.12)	Face Bend (see Fig. 4.12)	Side Bend (see Fig. 4.13)	Min	Max
3 ≤ T ≤ 10	2	2	2	(Note i)	3	2T
10 < T < 25	2	—	—	4	3	2T
25 and over	2	—	—	4	3	Unlimited

2. Tests on Pipe or Tubing^{a, g}

Nominal Pipe Size or Diam., mm	Nominal Wall Thickness, T, mm	Number of Specimens				Nominal Diameter ^e of Pipe or Tube Size Qualified, mm	Nominal Plate, Pipe or Tube Wall Thickness ^{c, d} Qualified, mm		
		Reduced Section Tension (see Fig. 4.14)	Root Bend (see Fig. 4.12)	Face Bend (see Fig. 4.12)	Side Bend (see Fig. 4.13)		Min	Max	
Job Size Test Pipes	< 600	3 ≤ T ≤ 10	2	2	2	(Note i)	Test diam. and over	3	2T
		10 < T < 20	2	—	—	4	Test diam. and over	T/2	2T
		T ≥ 20	2	—	—	4	Test diam. and over	10	Unlimited
Job Size Test Pipes	≥ 600	3 ≤ T ≤ 10	2	2	2	(Note i)	Test diam. and over	3	2T
		10 < T < 20	2	—	—	4	600 and over	T/2	2T
		T ≥ 20	2	—	—	4	600 and over	10	Unlimited
Standard Test Pipes	50 mm OD × 6 mm WT or 75 mm OD × 6 mm WT		2	2	2	—	20 through 100	3	20
	150 mm OD × 14 mm WT or 200 mm OD × 12 mm WT		2	—	—	4	100 and over	5	Unlimited

3. Tests on ESW and EGW^{a, h}

Nominal Plate Thickness Tested	Number of Specimens				Nominal Plate Thickness Qualified	
	Reduced Section Tension (see Fig. 4.14)	All-Weld-Metal Tension (see Fig. 4.18)	Side Bend (see Fig. 4.13)	CVN Tests	Min	Max
T	2	1	4	(Note f)	0.5T	1.1T

^a All test plate, pipe or tube welds shall be visually inspected (see 4.8.1) and subject to NDT (see 4.8.2). One test plate, pipe or tube shall be required for each qualified position.

^b See Figures 4.10 and 4.11 for test plate requirements.

^c For square groove welds that are qualified without backgouging, the maximum thickness qualified shall be limited to the test plate thickness.

^d CJP groove weld qualification on any thickness or diameter shall qualify any size of fillet or PJP groove weld for any thickness or diameter.

^e Qualification with any pipe diameter shall qualify all box section widths and depths.

^f When specified, CVN tests shall conform to Section 4, Part D.

^g See Table 4.1 for the groove details required for qualification of tubular butt and T-, Y-, K-connection joints.

^h See Figure 4.9 for plate requirements.

ⁱ For 10 mm plate or wall thickness, a side-bend test may be substituted for each of the required face- and root-bend tests.

ANEXO 03:

- **Tabla 4.8: Aceros de la Tabla 3.1 y Aceros No Incluidos en la misma, Calificados por PQR.
Extraído del ANSI/AWS D1.1/D1.1M : 2008 Structural Welding Code – Steel.**

Table 4.8
Table 3.1, Table 4.9, and Unlisted Steels Qualified by PQR (see 4.7.3)

PQR Base Metal	WPS Base Metal Group Combinations Allowed by PQR
Any Group I Steel to Any Group I Steel	Any Group I Steel to Any Group I Steel
Any Group II Steel to Any Group II Steel	Any Group I Steel to Any Group I Steel Any Group II Steel to Any Group I Steel Any Group II Steel to Any Group II Steel
Any Specific Group III or <u>Table 4.9</u> Steel to Any Group I Steel	The Specific PQR Group III or <u>Table 4.9</u> Steel Tested to Any Group I Steel
Any Specific Group III or <u>Table 4.9</u> Steel to Any Group II Steel	The Specific PQR Group III or <u>Table 4.9</u> Steel Tested to Any Group I or Group II Steel
Any Group III Steel to the Same or Any Other Group III Steel or Any Group IV Steel to the Same or Any Other Group IV Steel or Any <u>Table 4.9</u> Steel to the Same or Any Other <u>Table 4.9</u> Steel	Steels shall be of the same material specification, grade/type and minimum yield strength as the Steels listed in the PQR
Any Combination of Group III, IV, and <u>Table 4.9</u> Steels	Only the Specific Combination of Steels listed in the PQR
Any Unlisted Steel to Any Unlisted Steel or Any Steel Listed in Table 3.1 or <u>Table 4.9</u>	Only the Specific Combination of Steels listed in the PQR

Notes:

1. Groups I through IV are found in Table 3.1.
2. When allowed by the steel specification, the yield strength may be reduced with increased metal thickness.

ANEXO 04:

- **Hoja Técnica del Electrodo E 7018**

Color de Revestimiento Gris	Electrodo básico de bajo hidrógeno de extraordinarias características	Extremo : Negro Punto : Naranja Grupo : Verde
--------------------------------	-----------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------

Normas:

AWS/ASME: A5.1 – 91	DIN 1913	ISO 3580
E 7018	E 51 55 B 10	E 51 4 B 26 (H)

Análisis químico del metal depositado (%):

C	Mn	Si
0.08	1.25	0.50

Características:

- Electrodo básico con bajo tenor de hidrógeno, que otorga al material depositado buenas propiedades mecánicas.
- Su contenido de hierro en polvo mejora la soldabilidad, aumentando la penetración y deposición, mejorando al mismo tiempo su comportamiento en distintas posiciones.
- Rendimiento de 98%.

Resecado: Cuando el electrodo ha estado expuesto excesivamente a la intemperie, resecar a 300°C durante 2 horas.

Aprobaciones: ABS, LRS, GL (Grado 3)
ABS (Según AWS A5.1-91)

Propiedades Mecánicas:

Tratamiento Térmico	Resistencia a la Tracción	Límite Elástico	Ch V -20°C	Elongación en 2"
Sin	510-610 N/ mm ²	> 380 N/mm ²	> 140 J	24%
	74,000 a 88,000 lb/pulg ²	> 55,000 lb/pulg ²		
Alivio de Tensiones	480-580 N/mm ²	> 380 N/mm ²	> 140 J	24%
Normalizado	420-520 N/mm ²	> 290 N/mm ²	> 140 J	26%

* Para la calificación ABS según AWS la prueba de impacto es a -29°C

Posiciones de Soldar: P, H, Sc, Vd.

Corriente y Polaridad:

Para corriente alterna o continua – Electrodo al polo positivo						
∅	5/64"	3/32"	1/8"	5/32"	3/16"	1/4"
	2,0mm	2,5mm	3,25 mm.	4,0 mm.	5,0 mm	6,30mm
Amp. mín.	45	60	90	110	160	230
Amp. máx.	60	85	160	230	310	410

Aplicaciones:

- Para aceros de alto contenido de carbono, alta resistencia y baja aleación.
- Para aceros de alto contenido de azufre y fácil fresado.
- Para aceros laminados al frío.
- Por sus características de resistencia a la deformación a altas temperaturas y su fácil manejo, especialmente adecuado para:
 - Soldaduras de tuberías de vapor
 - Calderas de alta presión
 - Aceros aleados al molibdeno
 - Instalaciones de la Industria Petrolera y Petroquímica
 - Moldes de artículos de caucho con alto tenor de azufre.
 - Piezas de maquinaria pesada.
 - Aceros con resistencia a la tracción hasta 85,000 lb/pulg²

ANEXO 05:

- **Hoja Técnica del Alambre Tubular E 71T-1**

EXSATUB 71

Alambres Tubulares de Unión



Descripción:

El producto EXSATUB 71T-1 es un alambre tubular para toda posición, diseñado para brindar óptimas propiedades mecánicas al trabajar con CO₂ o mezcla de Argón/CO₂ como gas protector.

Normas:

AWS/ASME/SFA-5.20

E 71T-1

Análisis químico del metal depositado (%):

C	Mn	Si
0,06	1,47	0,6

Características:

- El producto EXSATUB 71T-1 produce 20% menos de humos, 50% menos de salpicaduras que alambres tubulares equivalentes. En comparación con alambres tubulares autoprottegidos, brinda buenas propiedades frente al impacto a baja temperatura y la apariencia del cordón es insuperable.
- La transferencia del metal de aporte es suave y la remoción de escoria es fácil, lo cual facilita el depósito de cordones en posición vertical ascendente.
- El contorno de la soldadura en filete es plano a ligeramente convexo con buena humectación en los bordes de la junta. Este alambre tolera cascarillas y óxidos ligeros sobre el material base.

Propiedades Mecánicas:

	Resistencia a la Tracción	Límite Elástico	Elongación (l=5d)	Reducción de área	Ch V	
					22°C	-18°C
Después de soldado	593 N/mm ²	524 N/mm ²	27%	67%	89 J	43 J
	86 000 lb/pulg ²	76 000 lb/pulg ²				
Con alivio de tensiones, 8 horas a 600°C	572 N/mm ²	503 N/mm ²	28%	68%	43 J	27 J
	83 000 lb/pulg ²	73 000 lb/pulg ²				

Posiciones de Soldar:

P	Fh	H	Va	Vd	Sc
---	----	---	----	----	----

Tipo de Corriente, Polaridad, Fuente de Poder y Gas de Protección:

Corriente Continua Electrodo al Polo Positivo / CC(+)	Voltaje Constante (de preferencia) ó Amperaje Constante con alimentador de alambre
-------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------

Diámetros, Amperajes y Presentación:

Diámetro (mm)	1,60					
Presentación (Kg)	15 (carrete) ó 27,27 (rollo)					
Gas de Protección	100% CO ₂ , Ar/CO ₂ (80/20 ó 75/25)					
Amperaje (Amp.)	210	220	240	275	300	350
Voltaje (V)	24	25	26	28	28	29
Velocidad de alimentación del alambre (cm/min)	302	315	348	455	541	645
Velocidad de deposición (kg/hr)	2,2	2,5	3,5	3,9	4,2	5,3
Rendimiento (%)	87	87	86	88	87	87

Aplicaciones:

- El alambre EXSATUB 71 está diseñado para soldaduras en toda posición, en un solo pase y/o multipase sobre aceros de bajo y de mediano carbono y aceros de baja aleación.
- Es muy empleado en la fabricación y reparación de equipos de minería, tolvas, chutes, molinos, tanques, carretas, lampones, cucharas de palas y de cargadores frontales, etc.



ANEXO 06:

- **Hoja Técnica del Acero T1 FORA 500**

FORA 500

A 500 HB wear resistant steel

FORA 500 is a water quenched martensitic steel, with a 500HB (51.5 HRC), typical hardness, resistant to very severe abrasion wear. Thanks to its mechanical properties, good toughness, high hardness and strength, **FORA 500** steel can be used wherever a sliding wear resistance is required and where 400 HB steels do not provide sufficiently long service life.

Compared to conventional steels, such as S355, **FORA 500** offers a real improvement on the life time of equipment, up to 5 times longer and consequently allows a significant reduction in the design thickness.

FORA 500 steel is particularly suitable for applications such as quarries, construction equipment, mines, cement plants, the iron and steel industry, etc...

STANDARD

FORA 500 – INDUSTEEL SPECIFICATION

CHEMICAL ANALYSIS

Guaranteed Maximum values (% Weight)

C	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B
0.30	1.5	0.02	0.003	2.0	0.6	0.3	0.003

max. thickness 50mm
 $C_{Eq} \leq 0.89\%$

$$C_{Eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15}$$

MECHANICAL PROPERTIES

Typical values

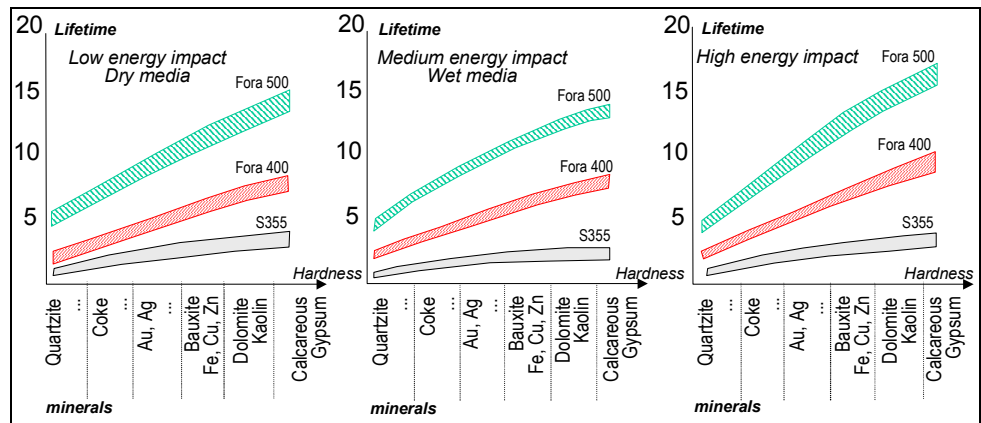
Hardness	Yield Strength ¹ 0.2 %	UTS ¹	E 5.65√S ⁽¹⁾ (%)	KCV long. -20°C (-4°F)
500 HB	1350 N/mm ²	1700 N/mm ²	10 %	30 J/cm ²
51.5 HRC	195 KSI	245 KSI	10 %	18 ft.lb

Guaranteed hardness in delivery condition : 460 / 540 HB (49/54 HRC)

¹ Prismatic tensile probes.

ABRASION RESISTANCE PROPERTIES

Wear tests data :



PROCESSING

Cutting

All the classical processes in thermal cutting are compatible with **FORA 500** (gas, plasma, laser).

Plates between 8 to 10 mm (0.3" to 0.4") thick need not be preheated if thermal cutting is performed at a temperature higher than 10°C (50°F). Where this is not the case or where plates have a thickness higher than 10 mm (0.4"), preheating at 100-150°C (200-300°F) is recommended.

Thickness →	8-10 mm (0.3"-0.4")	> 10 mm (> 0.4")
Cutting Temperature ↓		
≥ 10°C (50°F)	No preheating	Preheating at 100-150°C (212-302°F)
< 10°C (50°F)	Preheating at 100-150°C (212-302°F)	

Cutting by water jet can also be performed.

Machining

Drilling and milling should be performed with supercarburized cobalt high-speed steel type HSSCO, wherever possible using an oil lubricant. However, classical high-speed steels can be used. Typical cutting parameters are :

Drilling		Ø = 10 mm	Ø = 20 mm	Ø = 30 mm
		(0.4")	(0.8")	(1.2")
Cutting Speed	(m/min)	4-6	4-6	4-6
	(ft/min)	13-20	13-20	13-20
Rotation speed	(rev/min)	130	65	40
Feed	(mm/rev)	0.1	0.2	0.3

Tapping		Ø = 10 mm	Ø = 20 mm	Ø = 30 mm
		(0.4")	(0.8")	(1.2")
Cutting Speed	(m/min)	1-3	1-3	1-3
	(ft/min)	3.3-10	3.3-10	3.3-10
Rotation speed	(rev/min)	50	30	20

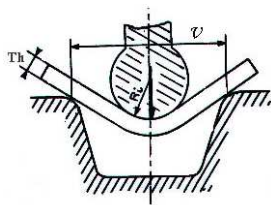
Milling		Depth	Cutting speed	Feed
		mm (inch)	m/min	(mm/tooth)
HSSCO AR 12.0.5.5 (T15)		1 (0.04")	10 - 12	0.08
		4 (0.16")	8 - 10	0.12
		8 (0.31")	5 - 8	0.12

Bending

Thanks to the quality of the steel making process (low sulphur and phosphorous contents), **FORA 500** can be bent, provided that the following conditions are respected :

- Dressing (or grinding) of the ridges caused by gas-cutting to limit the hardened zones
- Sufficiently powerful equipment
- Respect of the minimum forming radius

For plate below to 20 mm (0.8") thick, forming conditions are summarized in the following table ; beyond 20 mm (0.8"), consult us.

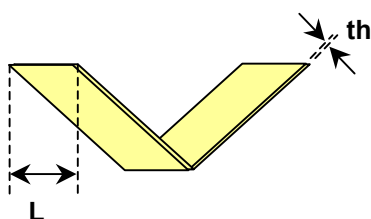


Bending 90°

	Perpendicular to the rolling direction	Parallel to the rolling direction
Bending internal radius R_i (mini)	7 x th	9 x th
Die opening V (mini)	18 x th	22 x th

Within these allowable bending parameters, the force required to form a plate is a function of the bent length, the metal thickness, die opening, die form (V or U), punch form, etc...

The following table shows the bending forces, for the minimum die opening ($V=18\ th$), required for V bending plates for different bent plate widths :



th(thickness)	Bending force required / bent plate width*	
	Tons/m	Tons/ft
5mm / 0.2"	60	17
10mm / 0.4"	115	35
15mm / 0.6"	170	52
20mm / 0.8"	230	70

*(±10%)

FORA 500 steel is unsuitable for hot forming at a temperature higher than 200°C (400°F)

FORA 500 can be welded using following parameters :

Weld preparation

Welded surface must be dry and clean and superficially ground in order to eliminate any rust, scale, grease or paint traces as well as any gas-cutting ridges.

Welding process

Any conventional fusion welding method can be used such as submerged arc welding (SAW), manual metal arc welding (SMAW), flux cored wire arc welding (FCAW), MIG, MAG (GMAW) and TIG (GTAW).

Heat input should be limited to 10-30 KJ/cm with a maximum temperature between the welding passes of 200°C (392°F).

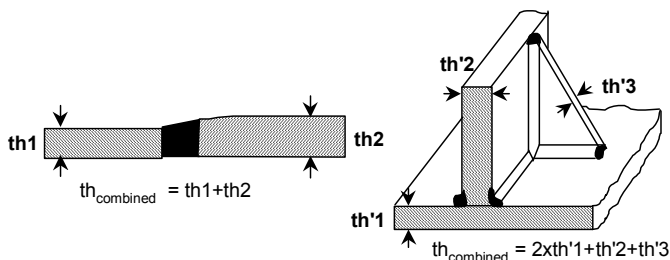
Welding products

	Stick electrodes	MIG-MAG	Flux core wire gas protected	Submerged arc welding Wire / flux
AFNOR	NFA81-340 EY50 1niMo Bxxx1xTBH			NF A81-322 FP/x xx/xx xB x SA31 47 05 04
AWS	A5-5-81 E 70xx	A5-28 ER 70 S-x	A5-29 E 7xT5-x	A5-23 F7P4-Exxx-A2
DIN	DIN 1913 E51 55 Bx			

WELDING

Pre-heating

FORA 500 can be welded without any crack risk and without preheating up to a combined plate thickness of 10mm (0.4"). For the higher thickness, following conditions are recommended.



PREHEATING			
	No	150°C (300°F)	200°C (400°F)
th_{comb} :	< 10mm (0.4")	12-20mm (0.4-0.8)	>20mm (0.8")

APPLICATIONS

- Quarries, Construction- Earth moving Screens, bunkers, bulldozers, etc...
- Cement plant Scraper, crushers, bunkers, etc...
- Mines, Coal mines Crushers, winding and discharging machines, etc...
- Iron and steel industry Bunkers, guide and shifting plates, etc...

DIMENSIONAL PROGRAMME

Thickness mm (inch)	Width mm (inch)	Tol/Thickness mm	Flatness mm/m (inch)
6/7 (0.24")	1500/2500 (59"/98")	1.2	7 (0.28")
8 (0.28")	1500/2750 (59"/108")	1.2	7 (0.28")
9 (0.35")	1500/2750 (59"/108")	1.2	7 (0.28")
8/14 (0.3/0.6)	1500/3000 (59"/118")	1.2	7 (0.28")
15/24 (0.6/1)	1500/3000 (59"/118")	1.4	6 (0.24")
25/39 (1/1.5)	1500/3000 (59"/118")	1.6	6 (0.24")
40/50 (1.57/2)	1500/3000 (59"/118")	2.4	5 (0.20")

Typical lengths: 4000 – 6000 – 8000 – 10 000 mm

Please consult us for other thicknesses and specific dimensions

NOTE :

1. This technical data and information represents our best knowledge at the time of printing. However, it may be subject to some slight variations due to our ongoing research programme on wear resistant grades. We therefore suggest that information be verified at time of enquiry or order. Furthermore, in service, real conditions are specific for each application. The data presented here is only for the purpose of description, and may only be considered as guarantees when our company has given written formal approval. Further information may be obtained from the following address.
2. FORA 500 : Application range.
FORA 500 has been developed specifically for its abrasion resistance. Customer's usage of FORA 500 for any other purposes, not directly resulting from its abrasion resistance, is his own prerogative but won't, in any way, engage INDUSTRIEL's responsibility. In addition to the recommendations given in this document, Customer will have to follow the Industry standard quality rules for any processing operation performed on this material.

INDUSTEEL IS CERTIFIED ISO 9001

Information : **INDUSTEEL Belgium**
Rue du Chatelet, 266
B-6030 CHARLEROI
Phone : +32 71 44 18 78
Fax : +32 71 44 19 59
www.industeel.info

ANEXO 07:

- **Hoja Técnica del Acero ASTM A36**



Standard Specification for Carbon Structural Steel¹

This standard is issued under the fixed designation A 36/A 36M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This specification² covers carbon steel shapes, plates, and bars of structural quality for use in riveted, bolted, or welded construction of bridges and buildings, and for general structural purposes.

1.2 Supplementary requirements are provided for use where additional testing or additional restrictions are required by the purchaser. Such requirements apply only when specified in the purchase order.

1.3 When the steel is to be welded, a welding procedure suitable for the grade of steel and intended use or service is to be utilized. See Appendix X3 of Specification A 6/A 6M for information on weldability.

1.4 For Group 4 and 5 wide flange shapes for use in tension, it is recommended that the purchaser consider specifying supplementary requirements, such as fine austenitic grain size and Charpy V-notch impact testing.

1.5 The values stated in either inch-pound units or SI units are to be regarded separately as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system is to be used independently of the other, without combining values in any way.

1.6 The text of this specification contains notes or footnotes, or both, that provide explanatory material. Such notes and footnotes, excluding those in tables and figures, do not contain any mandatory requirements.

1.7 For structural products cut from coiled product, the additional requirements, including additional testing requirements and the reporting of additional test results, of A 6/A 6M apply.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

A 6/A 6M Specification for General Requirements for

Rolled Structural Steel Bars, Plates, Shapes, and Sheet Piling³

A 27/A 27M Specification for Steel Castings, Carbon, for General Application⁴

A 307 Specification for Carbon Steel Bolts and Studs, 60 000 psi Tensile Strength⁵

A 325 Specification for High-Strength Bolts for Structural Steel Joints⁵

A 325M Specification for High-Strength Bolts for Structural Steel Joints [Metric]⁵

A 500 Specification for Cold-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing in Rounds and Shapes⁶

A 501 Specification for Hot-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing⁶

A 502 Specification for Steel Structural Rivets⁵

A 563 Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts⁵

A 563M Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts [Metric]⁵

A 570/A 570M Specification for Steel, Sheet and Strip, Carbon, Hot-Rolled, Structural Quality⁷

A 668/A 668M Specification for Steel Forgings, Carbon and Alloy, for General Industrial Use⁸

F 568M Specification for Carbon and Alloy Steel Externally Threaded Metric Fasteners⁵

3. Appurtenant Materials

3.1 When components of a steel structure are identified with this ASTM designation but the product form is not listed in the scope of this specification, the material shall conform to one of the standards listed in Table 1 unless otherwise specified by the purchaser.

4. General Requirements for Delivery

4.1 Material furnished under this specification shall conform to the requirements of the current edition of Specification A 6/A 6M, for the ordered material, unless a conflict exists in which case this specification shall prevail.

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A01 on Steel, Stainless Steel, and Related Alloys, and is the direct responsibility of Subcommittee A01.02 on Structural Steel for Bridges, Buildings, Rolling Stock, and Ships.

Current edition approved Sept. 10, 2001. Published September 2001. Originally published as A 36 – 60 T. Last previous edition A 36/A 36M – 00a.

² For ASME Boiler and Pressure Vessel Code Applications, see related Specifications SA-36 in Section II of that Code.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.04.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.02.

⁵ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 15.08.

⁶ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.01.

⁷ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.03.

⁸ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.05.

TABLE 1 Appurtenant Material Specifications

NOTE 1—The specifier should be satisfied of the suitability of these materials for the intended application. Chemical composition and/or mechanical properties may be different than specified in A 36/A 36M.

Material	ASTM Designation
Steel rivets	A 502, Grade 1
Bolts	A 307, Grade A or F 568M, Class 4.6
High-strength bolts	A 325 or A 325M
Steel nuts	A 563 or A 563M
Cast steel	A 27/A 27M, Grade 65–35 [450–240]
Forgings (carbon steel)	A 668, Class D
Hot-rolled sheets and strip	A 570/A 570M, Grade 36
Cold-formed tubing	A 500, Grade B
Hot-formed tubing	A 501
Anchor bolts	F 1554

4.1.1 Coiled product is excluded from qualification to this specification until decoiled, leveled, and cut to length. Structural products produced from coil means structural products that have been cut to individual lengths from a coiled product and are furnished without heat treatment. The processor decoils, levels, cuts to length, and marks the product. The processor is responsible for performing and certifying all tests, examinations, repairs, inspections, or operations not intended to affect the properties of the material. For structural products produced from coils, two test results shall be reported for each qualifying coil. See Note 1.

NOTE 1—Additional requirements regarding structural products from coil are described in Specification A 6/A 6M.

5. Bearing Plates

5.1 Unless otherwise specified, plates used as bearing plates

for bridges shall be subjected to mechanical tests and shall conform to the tensile requirements of Section 8.

5.2 Unless otherwise specified, mechanical tests shall not be required for plates over 1½ in. [40 mm] in thickness used as bearing plates in structures other than bridges, subject to the requirement that they shall contain 0.20 to 0.33 % carbon by heat analysis, that the chemical composition shall conform to the requirements of Table 2 in phosphorus and sulfur content, and that a sufficient discard shall be made to secure sound plates.

6. Materials and Manufacture

6.1 The steel for plates and bars over ½ in. [12.5 mm] in thickness and shapes other than Group 1 shall be semi-killed or killed.

7. Chemical Composition

7.1 The heat analysis shall conform to the requirements prescribed in Table 2, except as specified in 5.2.

7.2 The steel shall conform on product analysis to the requirements prescribed in Table 2, subject to the product analysis tolerances in Specification A 6/A 6M.

8. Tension Test

8.1 The material as represented by the test specimen, except as specified in 5.2 and 8.2, shall conform to the requirements as to the tensile properties prescribed in Table 3.

8.2 Shapes less than 1 in.²[645 mm²] in cross section and bars, other than flats, less than ½ in. [12.5 mm] in thickness or diameter need not be subjected to tension tests by the manufacturer, provided that the chemical composition used is appropriate for obtaining the tensile properties in Table 3.

TABLE 2 Chemical Requirements

NOTE 1—Where “. . .” appears in this table, there is no requirement. The heat analysis for manganese shall be determined and reported as described in the heat analysis section of Specification A 6/A 6M.

Product	Shapes ^A	Plates ^B					Bars			
		To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 2½ [40 to 65], incl	Over 2½ to 4 [65 to 100], incl	Over 4 [100]	To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 4 [100], incl	Over 4 [100]
Thickness, in. [mm]	All									
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
Manganese, %	0.80–1.20	0.80–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20	...	0.60–0.90	0.60–0.90	0.60–0.90
Phosphorus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.40 max
Copper, min, % when copper steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

^A Manganese content of 0.85–1.35 % and silicon content of 0.15–0.40 % is required for shapes over 426 lb/ft [634 kg/m].

^B For each reduction of 0.01 percentage point below the specified carbon maximum, an increase of 0.06 percentage point manganese above the specified maximum will be permitted, up to the maximum of 1.35 %.

TABLE 3 Tensile Requirements^A

Plates, Shapes, ^B and Bars:	
Tensile strength, ksi [MPa]	58–80 [400–550]
Yield point, min, ksi [MPa]	36 [250] ^C
Plates and Bars ^{D,E} :	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	23
Shapes:	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	21 ^B

^A See the Orientation subsection in the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

^B For wide flange shapes over 426 lb/ft [634 kg/m], the 80 ksi [550 MPa] maximum tensile strength does not apply and a minimum elongation in 2 in. [50 mm] of 19 % applies.

^C Yield point 32 ksi [220 MPa] for plates over 8 in. [200 mm] in thickness.

^D Elongation not required to be determined for floor plate.

^E For plates wider than 24 in. [600 mm], the elongation requirement is reduced two percentage points. See the Elongation Requirement Adjustments subsection under the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

9. Keywords

9.1 bars; bolted construction; bridges; buildings; carbon; plates; riveted construction; shapes; steel; structural steel; welded construction

SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS

These requirements shall not apply unless specified in the order.

Standardized supplementary requirements for use at the option of the purchaser are listed in Specification A 6/A 6M. Those that are considered suitable for use with this specification are listed by title:

S5. Charpy V-Notch Impact Test.

S30. Charpy V-Notch Impact Test for Structural Shapes:
Alternate Core Location

In addition, the following optional supplementary requirement is also suitable for use with this specification:

S97. Limitation on Rimmed or Capped Steel

S97.1 The steel shall be other than rimmed or capped.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

ANEXO 08:

- **Discontinuidades Presentes en las Uniones Soldadas**

DISCONTINUIDADES PRESENTES EN LAS UNIONES SOLDADAS

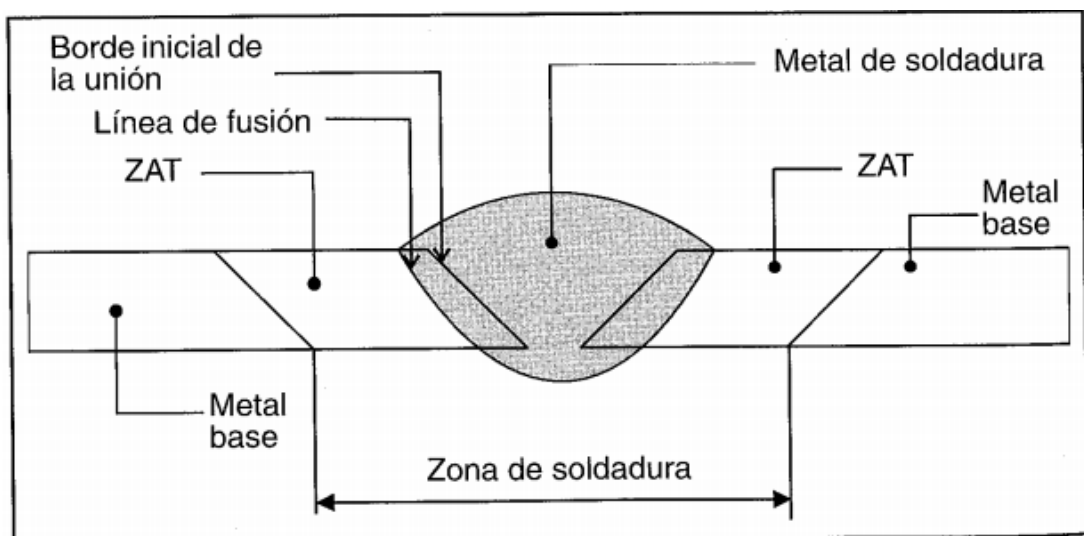
Zonas de la Unión Soldada

En un proceso de soldeo por fusión se pueden distinguir tres zonas claras en la unión soldada:

1.- Metal de Soldadura: También conocido como cordón de soldadura, es la zona formada por el metal base y el metal de aportación que han sido fundidos.

2.- Zona Afectada por el Calor (ZAC): Es la zona adyacente a la soldadura que se calienta en gran medida y se ve afectada por el calor, pero que no se funde. Esta zona sufre cambios metalúrgicos y cambios en sus características mecánicas pudiendo ser muy propensa a desarrollar grietas o condiciones desfavorables. En general es deseable una ZAC estrecha.

3.- Metal Base: Es el material que no ha sufrido ninguna transformación en el proceso de soldeo.



Zonas de la Unión Soldada

Las probables imperfecciones que podemos esperar de acuerdo al proceso de soldadura, materiales base y de aporte, condiciones de soldeo, etc. son muchas, las cuales se deben a factores como mal manejo de las variables de soldeo, factores atmosféricos inclusive la falta de habilidad del soldador, a continuación mencionamos las más comunes:

- **Grietas:** Ocasionadas por el endurecimiento en la ZAC o el agrietamiento por hidrogeno (Arietamiento en frío), ambas aparecerán en la ZAC mucho después de efectuado el soldeo.

- **Cavidades:**
 - **Poros:** Se pueden obtener poros en la soldadura debido a la falta de limpieza, residuos de óxidos o por condiciones atmosféricas adversas.
 - **Poros vermiculares:** Las condiciones atmosféricas desfavorables, mala técnica operatoria o problemas en el revestimiento (humedad).

- **Inclusión sólidas:**
 - **Escoria:** Debido a la falta de limpieza de la escoria entre pases, óxidos metálicos, intensidad muy baja. Suele encontrarse entre los pases de soldadura.

- **Falta de fusión:** Debido a intensidades bajas, excesiva velocidad, empalme defectuosos. Puede existir entre pases de soldadura o entre el metal depositado y el metal base.

- **Falta de penetración:** Es una falta de fusión en la raíz, debido a la baja intensidad, excesiva velocidad, una separación de raíz pequeña, electrodo diámetro grande o desalineamiento.

- **De forma y dimensión:**
 - **Mordedura:** Surco o falta de metal depositado, excesiva intensidad, por lo general es ocasionado por la falta de habilidad del soldador.
 - **Exceso de penetración:** Cuando se suelda por un solo lado como es el caso de las tuberías de diámetros menores, separación de bordes excesiva, intensidad elevada, velocidad baja o falta de habilidad del soldador.
 - **Desalineamiento:** Ocasionado durante el montaje de las tuberías para el soldeo o por una geometría defectuosa de sus extremos. Por lo general existe un nivel de aceptabilidad para este defecto.
 - **Socavaciones:** Debido a la excesiva velocidad o por la falta de habilidad del soldador.

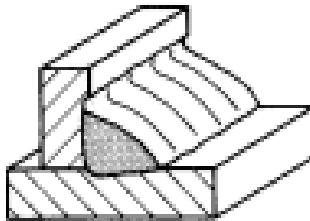
- **Perforación:** Es el hundimiento del baño de fusión, debido a intensidades excesivas, poca velocidad o falta de habilidad del soldador.

- **Rechupe:** Son cavidades debidas a la contracción, intensidad excesiva, interrupción brusca del arco.

- **Salpicaduras o proyecciones:** Son gotas de metal solidificado resultantes del proceso de soldeo, se producen debido a intensidades elevadas o soplo magnético.

DEFECTOS TÍPICOS EN LAS SOLDADURA SMAW y FCAW

Defecto: Mordeduras



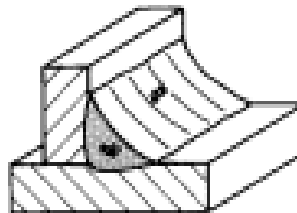
Causa

- Intensidad de soldeo demasiado elevada.
- Ángulo de desplazamiento excesivamente pequeño. (Electrodo perpendicular a la pieza).
- Arco largo.

Remedio

- Seleccionar la intensidad adecuada para el diámetro, posición y tipo de electrodo.
- Inclinarse el electrodo hasta que el ángulo de desplazamiento sea de 5-10°.
- Utilizar una longitud de arco igual al diámetro del electrodo, o a la mitad de éste si el electrodo es básico.

Defecto: Inclusiones de escoria

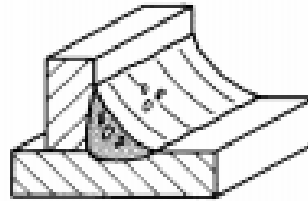


Causa

- Intensidad muy baja.
- Velocidad de desplazamiento elevada, que provoca el enfriamiento rápido de la soldadura no permitiendo la salida de la escoria.
- Soldado multipasadas sin retirar la escoria del cordón anterior.

Remedio

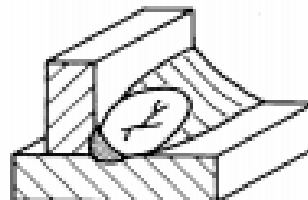
- Utilizar la intensidad suficiente que permita la salida de la escoria antes de que el metal aportado se solidifique.
- Reducir la velocidad de desplazamiento.
- Extremar la limpieza; siempre retirar totalmente la escoria antes de realizar el siguiente cordón.

Defecto: Porosidad*Causa*

- Suciedad en el metal base (óxidos, grasa, recubrimientos).
- Arco demasiado largo.
- Electrodo húmedos.

Remedio

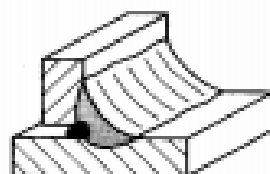
- Eliminar cualquier resto de grasa o suciedad antes del soldeo, eliminar también los recubrimientos que puedan tener las piezas.
- Utilizar una longitud de arco adecuada y mantenerla durante el soldeo.
- Conservar adecuadamente los electrodos evitando su contacto con cualquier fuente de humedad, utilizar estufas de mantenimiento y secar en horno antes del soldeo los electrodos básicos.

Defecto: Grietas en el cráter*Causa*

- Interrumpir el arco de forma brusca, especialmente cuando se suelda con altas intensidades.

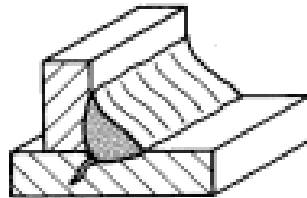
Remedio

- Utilizar una técnica de interrupción del arco adecuada.

Defecto: Inclusiones de escoria en la raíz*Remedio*

- Posicionar las piezas de forma que entre ellas siempre haya contacto.

Defecto: Grietas que parten de la intercara (metal de soldadura-metal base) de la unión



<i>Causa</i>	<i>Remedio</i>
<ul style="list-style-type: none"> - El material no es soldable. - Enfriamiento de la soldadura excesivamente rápido. 	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizar las precauciones necesarias para el soldeo de ese material. No soldar. - Evitar enfriamientos rápidos, naturales o provocados.

Defecto: Falta de fusión en los bordes



<i>Causa</i>	<i>Remedio</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Inadecuada limpieza, presencia de algún óxido o material extraño que impide la correcta fusión del material base. - Orientación inadecuada del electrodo. - Intensidad de soldeo insuficiente o velocidad excesiva. 	<ul style="list-style-type: none"> - Limpiar el material base, los chafanes y por lo menos 25 mm a cada lado de la unión. Extremar la limpieza o decapado en el acero inoxidable y aleaciones de aluminio. - Orientar el electrodo correctamente. - Elegir los parámetros de soldeo de forma adecuada.

Defecto: Falta de penetración



<i>Causa</i>	<i>Remedio</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Talón de la raíz excesivo o separación en la raíz insuficiente. Desalineamiento entre las piezas excesiva. - Intensidad de soldeo insuficiente o velocidad excesiva. 	<ul style="list-style-type: none"> - Preparar y ensamblar las piezas de forma adecuada. - Elegir los parámetros de soldeo de forma adecuada.

Defecto: Falta de penetración	
<i>Causa</i>	<i>Remedio</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Diámetro del electrodo demasiado grande que no permite el acercamiento del electrodo a la raíz de la unión. - Diámetro del electrodo demasiado fino que no tolera la intensidad necesaria para conseguir buena penetración. 	<ul style="list-style-type: none"> - Seleccionar el diámetro adecuado. - Seleccionar el diámetro adecuado.