

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA PRODUCCIÓN TECNIFICADA DE VIGAS Y COLUMNAS TIPO “I” PARA MÓDULOS HABITACIONALES

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

TEDDY ANDRÉS VILLACRÉS VEGA

DIRECTOR: ING. MIGUEL VILLACRÉS

QUITO, SEPTIEMBRE 2008

Director: mianvilla115@hotmail.com

Autor: teddy_beervv@hotmail.com

Declaración

Yo, TEDDY ANDRÉS VILLACRÉS VEGA declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido presentado previamente para ningún grado o calificación personal, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en el presente documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

TEDDY ANDRÉS
VILLACRÉS VEGA

Certificación

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por TEDDY ANDRÉS VILLACRÉS VEGA, bajo mi supervisión.

Ing. Miguel Villacrés C.
DIRECTOR DEL PROYECTO

Agradecimiento

En este momento de culminación de una etapa tan importante en mi vida quiero agradecer a Dios por haberme acompañado en los momentos difíciles tanto en el transcurso de esta etapa como en mi vida personal.

A mis queridos padres que siempre me apoyan incondicionalmente y que sin ellos esto no habría sido posible.

A la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional por formarme académicamente y a todos los profesores que la conforman.

A mi director de tesis el Ingeniero Miguel Villacrés Carrillo por su apoyo y por los años de haber compartido sus conocimientos conmigo.

A todos mis amigos, Penesaurios y la Gente Brava de PH, con los que compartí tantas noches de estudio y desvelo, aquellos que supieron decirme las palabras que necesitaba escuchar para darme ánimo cuando lo necesité.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres: Teddy Estuardo y Ana Piedad por su apoyo incondicional.

PRESENTACIÓN

En los últimos años se ha visto, en el país, y especialmente en la ciudad de Quito un gran crecimiento de la demanda por vivienda que esté al alcance de una familia promedio, pero al mismo tiempo que sea una vivienda cómoda y segura, construida bajo estándares de calidad y en un corto tiempo desde el inicio de construcción hasta estar totalmente habitable.

Una opción de construcción que cumple con estos requerimientos es la construcción de módulos habitacionales con prefabricados de acero. Estos son mucho más confiables en caso de movimientos sísmicos, son más baratos y disminuyen el costo de la construcción en general y la hacen mucho más rápida que la fabricación tradicional con concreto.

Debido a esta situación, muchas empresas constructoras se han dedicado a la elaboración de prefabricados para módulos habitacionales, sin embargo, algunas de estas no lo hacen de manera tecnificada y bajo las normas requeridas para garantizar un buen producto, perdiendo así las ventajas antes mencionadas brindadas por el acero, es por esto que se vuelve necesario desarrollar un documento donde se recopilen todos los datos necesarios para realizar un proceso correcto en la construcción tecnificada de elementos prefabricados para módulos habitacionales como vigas y columnas tipo "I".

En la actualidad no existe, en el país, un documento que regule la construcción de estructuras metálicas, norme los procedimientos requeridos para este fin ni los procedimientos para las pruebas que se deben realizar a las estructuras antes y después de su construcción. Los documentos utilizados en el Ecuador, como referencia en lo que a estructura metálica se refiere, son documentos tomados de otros países y no están enfocados a las necesidades específicas de nuestro país.

En el presente documento se ha realizado una recopilación de información que será útil para todas aquellas personas interesadas en la construcción de estructuras metálicas con fines de vivienda, en la ciudad de Quito.

RESUMEN

Este documento es una recopilación de información útil para la puesta en marcha de una empresa que quiera dedicarse a la construcción de prefabricados para estructuras habitacionales e inclusive siguiendo los mismo lineamientos aquí expuestos la misma empresa puede ir un poco más allá hacia el montaje de la estructura.

Capítulo 1. En este se describe la necesidad de este tipo de empresa y se trata de establecer si las empresas existentes en la actualidad en la ciudad de Quito dedicadas a la fabricación de estructura metálica cumplen con los requisitos técnicos necesarios para dicho fin.

Capítulo 2. Si bien es cierto un constructor de estructura metálica no interviene en el diseño de la misa, es necesario que la persona a cargo de la fabricación de la estructura tenga conocimientos acerca del funcionamiento de esta para poder tomar cualquier decisión en el caso de una modificación. Es por esto que en esta parte se ha descrito brevemente los fundamentos del diseño de estructuras metálicas, así como los diferentes esfuerzos a las que están sometidas y en base a esto se ha hecho una comparación de los tipos de perfiles usados en construcción, haciendo énfasis en el perfil estructural tipo I.

Capítulo 3. En este capítulo se describen las diferentes técnicas para lograr una producción eficaz y eficiente, abarcando desde varios modelos de producción, planes de mantenimiento hasta la formación necesaria del personal de planta para alcanzar una producción competitiva a nivel nacional.

Capítulo 4. En la construcción de perfiles soldados se hace imprescindible la utilización de un documento normativo que permita estandarizar los parámetros que influyen en la soldadura. En el caso de nuestro país todavía está en proceso la creación de una norma para regular la soldadura de estructura metálica, por lo que es importante la adopción de un código que sirva como guía en fabricación y control de calidad en la soldadura de estructura, por esto este capítulo se describe cómo debe ser el uso del código

AWS D1.1/1.1M 2004 Código Para la Soldadura Estructural de Acero, haciendo un recuento de todas sus partes y exponiendo las más importantes.

Capítulo 5. En este capítulo se describe el procedimiento que debe seguirse para la elaboración de perfiles soldados tipo I, tanto para vigas como para columnas, desde la entrada de la materia prima hasta que se obtiene un producto terminado que ha sido elaborado de una manera técnica y cumpliendo con los estándares de calidad necesarios para asegurar que los perfiles fabricados cumplan a cabalidad con su función estructural, brinden seguridad a las personas que los usan y tengan una vida útil suficiente sin la necesidad de reparaciones a corto plazo. También se describe una posible configuración de una planta con los requisitos mínimos necesarios de personal, equipo y espacio para empezar con la elaboración de perfiles estructurales, basado en la información entregada por los capítulos anteriores.

Capítulo 6. En este capítulo se realizan las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo de acuerdo a todo lo descrito en los capítulos anteriores.

CAPÍTULO 1

1.1 ESTUDIO DE LAS EMPRESAS DEDICADAS A LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA CON ESTRUCTURA METÁLICA EN QUITO

1.1.1 INTRODUCCIÓN

Como se mencionó anteriormente debido al constante crecimiento de la necesidad por vivienda y el crecimiento poblacional, en toda la provincia de Pichincha y en especial en la ciudad de Quito, se ha ido produciendo paralelamente el crecimiento de la industria dedicada a la construcción de vivienda.

En el presente capítulo se detalla información sobre el crecimiento poblacional y a la vez sobre el crecimiento de esta industria dedicada a la construcción así como también se realiza un breve análisis de las industrias que realizan un procedimiento de construcción de la estructura metálica de una manera tecnificada.

1.2. INDICES SOBRE CRECIMINETO POBLACIONAL Y DE VIVIENDA EN PICHINCHA¹

Los siguientes cuadros nos muestran la manera como ha ido creciendo la población tanto en habitantes como en porcentajes desde el año 1950 hasta el 2001, así como la tasa de crecimiento anual por cantones, de acuerdo a los censos de población que ha realizado el INEC, de acuerdo a provincia, cantón y ciudad.

| AÑO | POLBLACION | | | TASA DE CRECIMIENTO ANUAL % | | | |
|------|------------|---------|---------|-----------------------------|-----------|--------|--------|
| | PROVINCIA | CANTÓN | CIUDAD | PERÍODO | PROVINCIA | CANTÓN | CIUDAD |
| | PICHINCHA | QUITO | QUITO | | PICHINCHA | QUITO | QUITO |
| 1950 | 386520 | 319221 | 209932 | | | | |
| 1962 | 587835 | 510286 | 354746 | 1950-1962 | 3,50 | 3,92 | 4,38 |
| 1974 | 988306 | 782651 | 599828 | 1962-1974 | 4,51 | 3,71 | 4,56 |
| 1982 | 1382125 | 1116035 | 866472 | 1974-1982 | 3,96 | 4,19 | 4,34 |
| 1990 | 1756228 | 1409845 | 1100847 | 1982-1990 | 2,99 | 2,92 | 2,99 |
| 2001 | 2388817 | 1839853 | 1399378 | 1990-2001 | 2,80 | 2,42 | 2,18 |

¹ [Datos obtenidos del INEC]

Tabla 1. 1. Evolución de la provincia de Pichincha, cantón Quito y ciudad de Quito (censos 1950 - 2001)

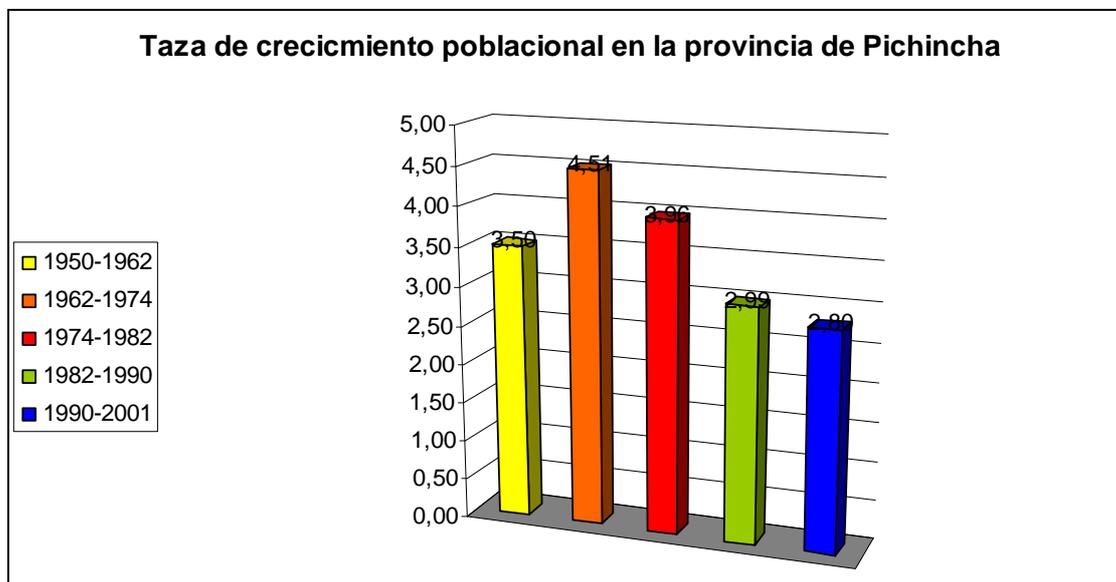


Figura 1.1. Tasa de crecimiento poblacional en Pichincha expresada en porcentajes comprendida entre 1950 y 2001

En este cuadro se observa el total y la distribución de cantones de viviendas, viviendas ocupadas en la provincia de Pichincha, comparadas con la población en el año 2001

| CANTONES | TOTAL DE VIVIENDAS | VIVIENDAS PARTICULARES OCUPADAS CON PERSONAS PRESENTES | | | POBLACION TOTAL |
|--------------------|--------------------|--|-----------|----------|-----------------|
| | | NUMERO | OCUPANTES | PROMEDIO | |
| PROVINCIA | 709088 | 610668 | 2370525 | 3,88 | 2388817 |
| QUITO | 555928 | 484074 | 1825586 | 3,77 | 1839853 |
| CAYAMBE | 21029 | 16344 | 69591 | 4,26 | 69800 |
| MEJÍA | 17943 | 14361 | 61889 | 4,31 | 62888 |
| PEDRO MONCAYO | 7823 | 6104 | 25529 | 4,18 | 25594 |
| RUMIÑAHUI | 18434 | 16302 | 65420 | 4,01 | 65882 |
| SANTO DOMINGO | 76889 | 65373 | 285273 | 4,36 | 287018 |
| Sn.M.DE LOS BANCOS | 3412 | 2283 | 10335 | 4,53 | 10717 |
| P.V.MALDONADO | 2921 | 2213 | 9849 | 4,45 | 9965 |
| PUERTO QUITO | 4709 | 3614 | 17053 | 4,72 | 17100 |

Tabla 1.2. Total de viviendas, ocupadas con personas presentes y promedio de ocupantes según cantones. (Censo 2001)

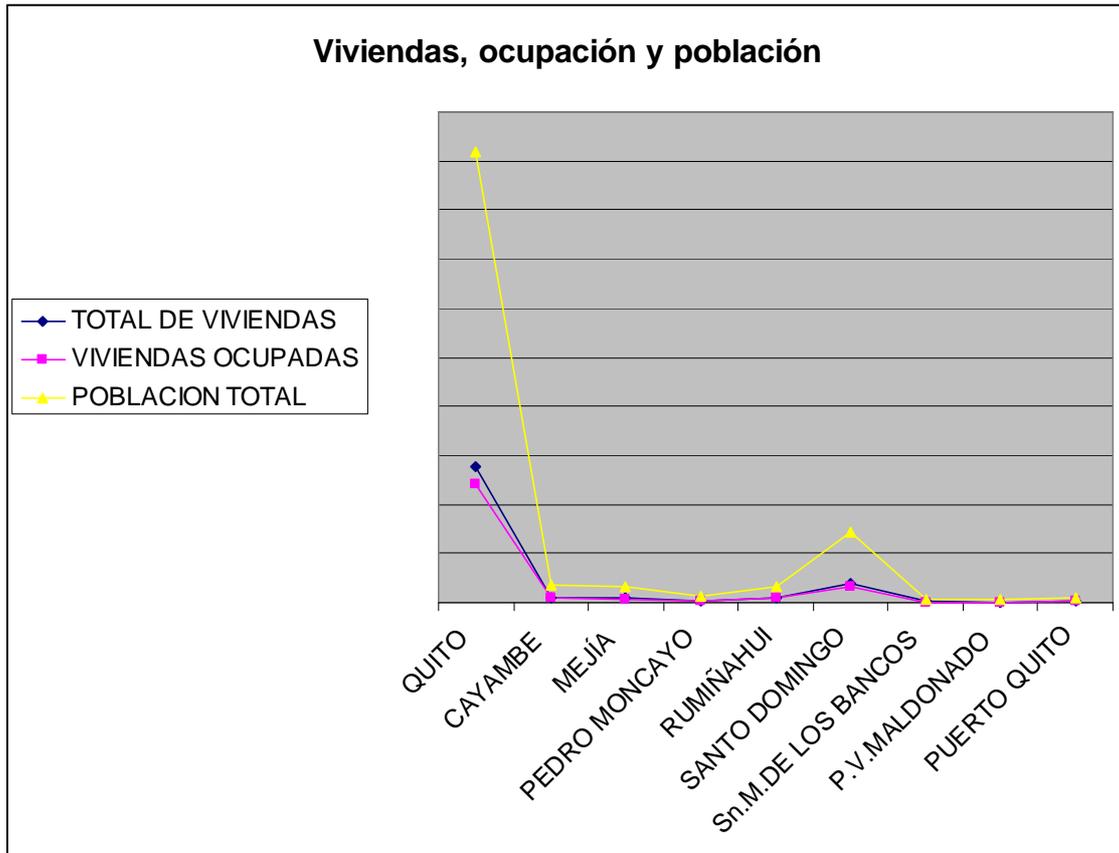


Figura 1.2. Comparación entre valores de vivienda, vivienda ocupada con personas presentes y la población total en la provincia de Pichincha mostrada por cantones

En el siguiente cuadro se puede observar el total de viviendas ocupadas, por tipo y tendencia de ocupación en la provincia de Pichincha según el último censo realizado el 2001

| TIPO DE VIVIENDA | TOTAL | TIPO DE TENDENCIA | | | | | |
|-------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------|--------------|--------------|-------------|
| | | PROPIA | ARRENDADA | ANTICRESIS | GRATUITA | SERVICIOS | OTRA |
| TOTAL | 610668 | 314723 | 236770 | 2636 | 34117 | 18188 | 4234 |
| Casa o Villa | 331646 | 226917 | 74131 | 1198 | 17273 | 9974 | 2153 |
| Departamento | 139974 | 53869 | 75882 | 920 | 7039 | 1530 | 734 |
| Cuart. en inquil. | 75693 | - | 70557 | 243 | 3294 | 1307 | 292 |
| Mediagua | 55247 | 29334 | 15020 | 233 | 5613 | 4239 | 808 |
| Rancho | 3865 | 2394 | 369 | 22 | 413 | 593 | 74 |
| Covacha | 2605 | 1372 | 494 | 13 | 350 | 272 | 104 |
| Choza | 483 | 483 | - | - | - | - | - |
| Otro | 1155 | 354 | 317 | 7 | 135 | 273 | 69 |

Tabla 1.3. Viviendas particulares ocupadas por tipo de tenencia según tipo de vivienda Censo 2001

1.2 EMPRESAS DEDICADAS A LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA METÁLICA

La empresa dedicada a la construcción usa no solamente la construcción tradicional de concreto sino también la construcción mixta con prefabricados de estructura metálica. En la provincia de Pichincha existen varias industrias dedicadas a la construcción de estructura metálica, y todas estas están reguladas por la Superintendencia de Compañías, estando las más grandes afiliadas a Fedimetal (Federación de Industrias Metalmeccánicas) o registradas por esta institución.

Las empresas dedicadas a la construcción de estructura metálica en Quito listadas en el Anexo 1 son las que se encuentran en el directorio de industrias metalmeccánicas de Fedimetal, y a estas empresas se le ha realizado la encuesta mostrada en el Anexo 2 para conocer algunos aspectos técnicos de dichas empresas.

1.3 TABULACIÓN DE DATOS

1.3.1 PREGUNTA N° 1

Nombre de la empresa. En esta pregunta se registra el nombre de la empresa a la que se le realizó la encuesta, para esto se procedió de manera telefónica y se hizo el contacto con la persona técnica a cargo de la empresa.

1.3.2 PREGUNTA N° 2

Qué tipo de estructuras se construyen en su empresa. Esta pregunta se la formuló con el fin de saber cuáles y cuántas de las empresas dedicadas a la construcción de estructuras se dedican a la construcción de módulos habitacionales.



Figura 1.3. Representación gráfica de los valores obtenidos para la pregunta 2

Se puede observar que la mayor parte de empresas consultadas se dedican a la construcción de otro tipo de estructuras como tanques, estructuras de carrocerías y más, sin embargo el porcentaje de edificios y galpones esta muy cerca.

1.3.3 PREGUNTA N° 3

Bajo que norma/s se realiza la construcción de estructura en su empresa. Esta pregunta se la realizó para saber si se está utilizando una norma que garantice la buena construcción de la estructura y para saber cuál es la norma más utilizada en este tipo de empresas, sabiendo que no hay una norma oficial para la construcción de estructuras en el país.

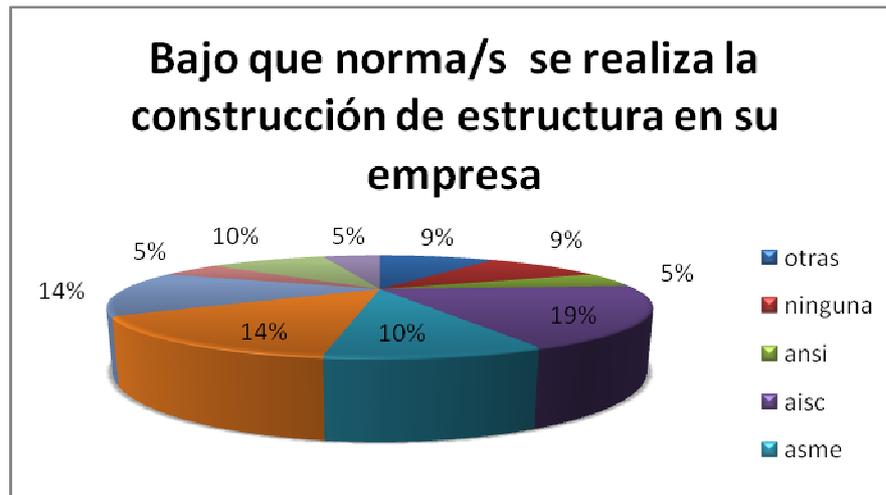


Figura 1.4. Representación gráfica de los valores obtenidos para la pregunta 3

Se observa una gran variedad de normas utilizadas por los constructores de estructuras la mayoría utilizan las normas AISC.

1.3.4 PREGUNTA N° 4

Su empresa cuenta con un ingeniero mecánico para la construcción de estructura metálica. Esta pregunta tiene el fin de dar a conocer si hay alguien de planta con formación técnica y capaz de llevar un control de calidad del producto terminado y de las etapas de producción.



Figura 1.5. Representación gráfica de los valores obtenidos para la pregunta 4

Se observa que una gran cantidad de empresas poseen ingenieros mecánicos en su nómina.

1.3.5 PREGUNTA N° 5

Realiza alguna tipo de ensayo destructivo o no destructivo en la fabricación de estructuras. Esta pregunta persigue saber si se está realizando algún tipo de control de personal y de procedimientos.

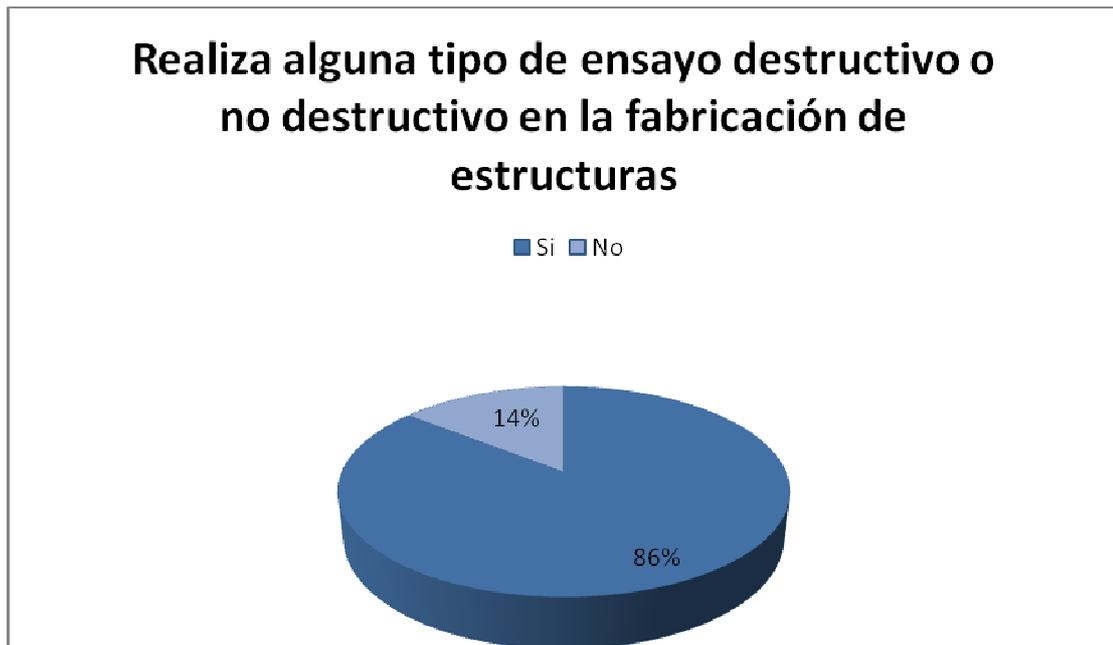


Figura 1.6. Representación gráfica de los valores obtenidos para la pregunta 5

La mayor parte de las empresas realiza algún tipo de ensayos en la fabricación de sus productos.

1.3.6 PREGUNTA N° 6

Qué tipo de ensayo realiza. Aquí se busca saber qué tipo de control se está realizando en la empresa.

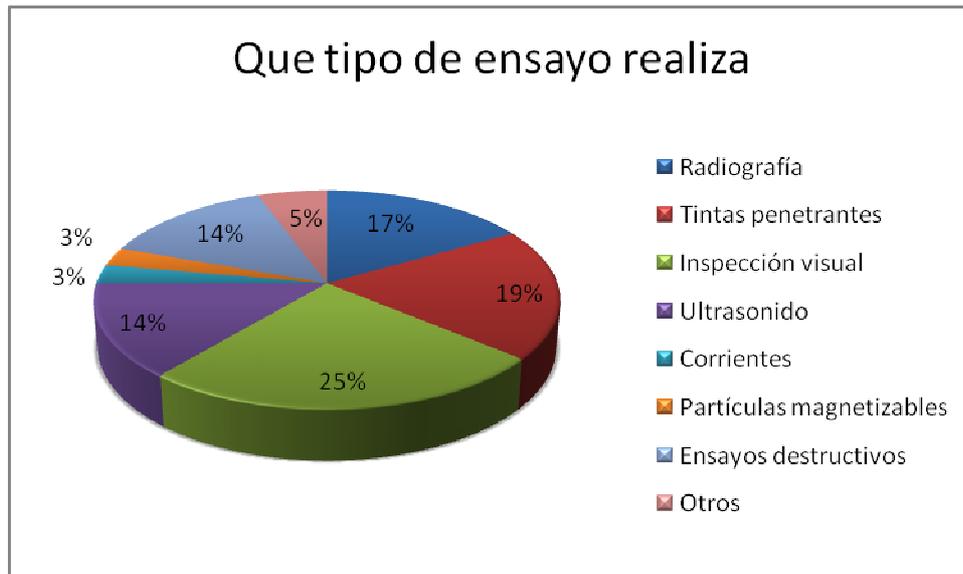


Figura 1.7. Representación gráfica de los valores obtenidos para la pregunta 6

Como se observa la inspección visual es el ensayo más utilizado seguido de las tintas penetrantes. Los métodos menos usados son las corrientes parásitas y las partículas magnetizables.

1.3.7 PREGUNTA N° 7

Que Tipos de perfil usa. Con esta pregunta se puede saber qué tipo de perfiles son los más ocupados en la industria, saber que tanto se usa el perfil tipo I y si se lo prefiere soldado o laminado.



Figura 1.8. Representación gráfica de los valores obtenidos para la pregunta 7

Se observa que hay una gran homogeneidad en los tipos de perfil usados sin embargo los tipos de perfiles en la categoría de otros (IPN, UPN, HEB, etc) son los más usados.



Figura 1.9. Representación gráfica de los valores obtenidos para la pregunta 7, para perfiles soldados y laminados.

Se puede ver que la mayoría de perfiles usados son soldados.

1.3.8 PREGUNTA N° 8

En su empresa se realizan WPS, PQR y/o WPQ. Esta pregunta es para saber si se usan los procedimientos y personal adecuados para la soldadura.



Figura 1.10. Representación gráfica de los valores obtenidos para la pregunta 8

Los WPS (EPS) son los documentos más usados por las empresas y unas pocas no usan ningún documento.

1.3.9 PREGUNTA N° 9

Su empresa posee un manual de calidad. Con esta pregunta se persigue saber si se lleva un control de calidad más estricto.

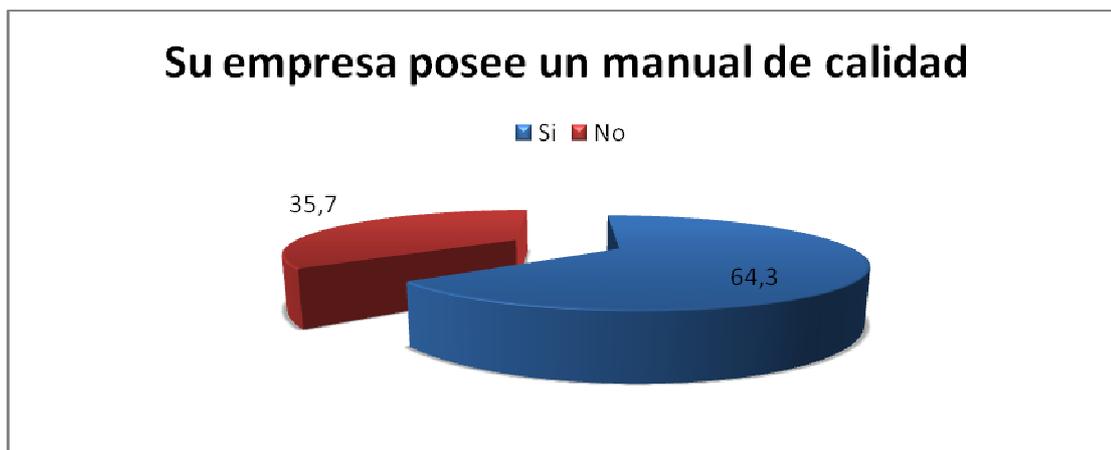


Figura 1.11. Representación gráfica de los valores obtenidos para la pregunta 9

Como se puede mirar la mayor parte de las empresas poseen un manual de calidad.

1.3.10 PREGUNTA N° 10

Su empresa cuenta con inspectores de calidad. Aquí se busca saber si hay personal entrenado para realizar el control de calidad.



Figura 1.12. Representación gráfica de los valores obtenidos para la pregunta 10

Finalmente las empresas consultadas afirman tener en la mayoría de ellas inspectores de calidad.

CAPÍTULO 2

2.3 FUNDAMENTOS DEL DISEÑO EN PERFILES TIPO I²

2.3.1 INTRODUCCIÓN

Si bien es cierto no es responsabilidad del fabricante el diseño de la viga o columna para una estructura, es necesario que este tenga una idea de cómo están funcionando estos elementos en la estructura para poder comprender mejor que es lo que pide el diseñador en las especificaciones de estos miembros.

En el presente capítulo se hace un breve análisis del tipo de esfuerzos que tiene que soportar las vigas y columnas en las estructuras utilizadas para módulos habitacionales así como de las fórmulas básicas utilizadas en el diseño de estos elementos.

2.4 ESFUERZOS A TENSIÓN EN PERFILES TIPO I

Generalmente los esfuerzos a tensión se encuentran en armaduras de techos, en estructuras usadas como vivienda o cuando se pretensa los elementos con la idea de reducir vibración y deflexión y rigidizar la estructura.

2.4.1 DEFINICIÓN DE TENSIÓN

Se denomina tensión mecánica al valor de la distribución de fuerzas por unidad de área en el entorno de un punto material dentro de un cuerpo material o medio continuo, donde estas fuerzas tienden a separar las moléculas que constituyen dicho material.

2.4.2 FÓRMULAS PARA MIEMBROS SOMETIDOS A TENSIÓN

En este documento se hace referencia al caso particular de tensión uniaxial, que se define en una situación en que se aplica fuerza F uniformemente distribuida sobre un área A . En ese caso la tensión mecánica uniaxial viene dada por:

$$\sigma_t = F/A$$

² [Diseño de Estructuras Metálicas, McCormac]

Donde:

σ_t = Esfuerzo de Tensión

F = Fuerza aplicada

A = Área de sección transversal

Para establecer el área del perfil a usarse solo se hace necesario dividir al fuerza máxima estimada que soporta el miembro para el esfuerzo permisible de diseño, esto es posible en los miembros sometidos a tensión porque estos debido a que en estos no se presenta el problema de pandeo. De esta manera el área mínima se obtiene a partir de:

$$A_{\min} = T / F_t$$

Donde:

A_{\min} = Área mínima que debe poseer el perfil

T = Fuerza de tensión máxima a soportar

F_t = Esfuerzo de tensión permisible

Las especificaciones ASD-D1 definen un esfuerzo permisible a la tensión de un 60% del límite de fluencia del acero estructural usado. De esta manera se obtiene un factor de seguridad de 1.67. Así el área a obtenerse es:

$$A_{\min} = T / 0.6F_y$$

Donde:

F_y = Límite de fluencia

Aunque los miembros sometidos a tensión no están sometidos a pandeo en condiciones normales, se recomienda que la relación de esbeltez máxima sea de 300, esta recomendación está dada por las normas ASD-B7 debido a la posibilidad de inversión de cargas por montaje, transporte, viento, etc. De lo anterior se desprende otro criterio para la selección del perfil a usarse, el radio mínimo de giro y viene dado por la expresión:

2.4.2.1 Relación de Esbeltez

$$r_{\min} = L/300$$

Donde:

r_{\min} = Radio mínimo de giro

L = Longitud libre del elemento

No conviene considerar una sección cuyo radio de giro mínimo r sea menor que este valor porque entonces L/r excederá el valor máximo permisible de 300.

Entonces lo que se tiene que hacer para seleccionar o diseñar un perfil adecuado para soportar cargas a tensión es simplemente un proceso iterativo dónde se escoge un perfil de acuerdo al área dada por la fórmula A_{\min} y se lo verifica con la relación de esbeltez, esta tiene que ser máximo de 300 y si no es así se escogerá otro que cumpla con las dos condiciones.

2.4.3 VENTAJAS DE LOS PERFILES TIPO I EN TENSIÓN

Existen varios perfiles en la industria usados para la erección de estructuras diseñados especialmente para soportar cargas a tensión, entre ellos están:

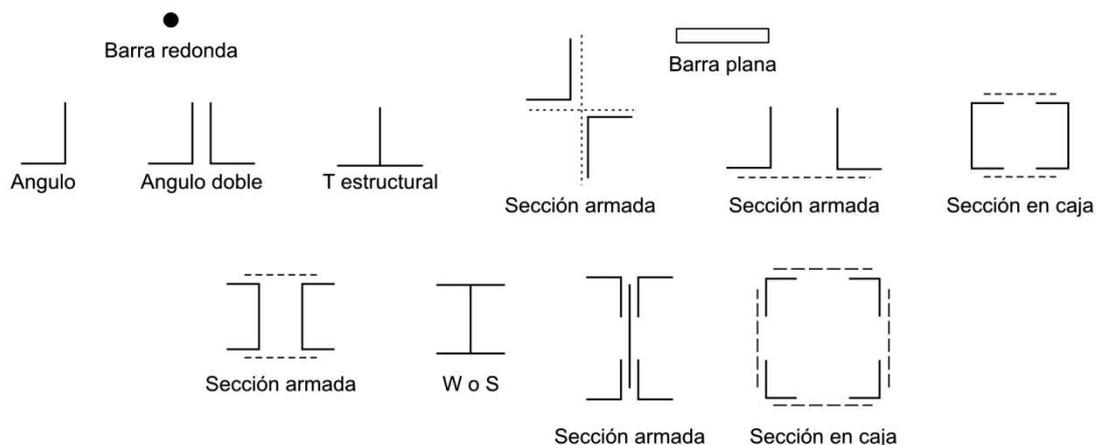


Figura 2.1 Tipos de miembros sometidos a tensión

Sin embargo los perfiles tipo I presentan algunas ventajas sobre los otros como:

- Tienen mayor rigidez y presentan mayor resistencia a la flexión bajo su propio peso que las barras de sección circular.
- Tienen mejor apariencia que otros tipos de perfiles.
- Son más rígidos y se conectan más fácilmente que otros miembros usados para soportar tensión como cables.
- Son más económicas por ser secciones simples.

2.5 ESFUERZOS A COMPRESIÓN EN PERFILES TIPO I

Existen varios miembros que trabajan a compresión de los cuales la columna es el más conocido. Entre los otros tipos se encuentran las cuerdas superiores de armaduras, miembros de arriostramiento, los patines a compresión de vigas laminadas y armadas y los miembros sujetos simultáneamente a flexión y a compresión. Las columnas son miembros verticales rectos cuyas longitudes son considerablemente mayores que su ancho.

2.5.1 DEFINICIÓN DE COMPRESIÓN

Es el valor que cuantifica la razón entre una fuerza que se da sobre un área en un cuerpo que tiende a causar en algunos casos una reducción de volumen, siempre manteniendo una masa constante.

2.5.2 FÓRMULAS PARA MIEMBROS SOMETIDOS A COMPRESIÓN

Para el caso de las fórmulas para miembros sometidos a compresión en condiciones ideales, existen una infinidad de fórmulas dadas por la literatura técnica, pero rara vez se dan estas condiciones, como son: cargas centradas en las columnas, columnas sin esfuerzos residuales de fabricación, materiales perfectamente homogéneos.

En consecuencia, el diseño práctico de las columnas se basa principalmente en fórmulas que se han desarrollado para concordar con exactitud razonable con los resultados obtenidos en las pruebas empíricas realizadas, debido a que mientras más esbelto es un miembro sometido a compresión, más tenderá a fallar por dicha esbeltez.

El efecto de la esbeltez en columnas es muy importante, debido a que si se sobrepasa cierto valor, poca o ninguna importancia tendrá el hacer un análisis tomando en cuenta el límite de fluencia del material del que esté constituida la columna ya que las pruebas demuestran que todas, excepto las columnas muy cortas, fallan bajo esfuerzos P/A que se encuentran muy por debajo del límite elástico del material de las columnas, debido a su tendencia a pandearse o flexionarse lateralmente

2.5.2.1 Fórmula de Euler

Esta es una fórmula hecha para el caso ideal de una columna recta, larga, cargada axialmente, homogénea y con extremos redondeados y libres. Esta columna perfecta se supone está flexionada bajo la acción de cargas, que si se retiran permitirán a la columna volver a su posición original.

Luego del respectivo análisis matemático se obtiene:

$$\frac{P}{A} = \frac{\pi^2 E}{(L/r)^2}$$

Donde:

P = Esfuerzo máximo a soportar por la columna

E = Módulo de elasticidad de Young

Debido a que esta fórmula está dada para condiciones ideales es independiente de la resistencia del acero entonces para poder utilizarla es necesario tomar en cuenta los apoyos reales en los que se encuentra la columna, de esta manera se obtendrá una Longitud Efectiva (L_e), que es la que se usará para la aplicación de la fórmula de Euler y las subsiguientes fórmulas.

2.5.2.1.1 Longitudes Efectivas de las Columnas

Las columnas con gran restricción en sus extremos pueden soportar cargas mucho mayores. La longitud efectiva se define como la distancia entre puntos de momento nulo de la columna, es decir, la distancia entre sus puntos de inflexión.

En las especificaciones del acero se la longitud efectiva de la columna se denomina KL en donde K es el Factor de Longitud Efectiva y depende del

grado de libertad que se tenga en cada uno de los extremos de la columna. A continuación se muestra en la figura 2.2 algunos factores K utilizados en el diseño de columnas:

| LONGITUDES EFECTIVAS DE COLUMNAS | | | | | | |
|--|---------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|------|-----|
| | (a) | (b) | (c) | (d) | (e) | (f) |
| Las líneas punteadas muestran la forma pandeada de la columna | | | | | | |
| Valor K teórico | 0,5 | 0,7 | 1,0 | 1,0 | 2,0 | 2,0 |
| Valores recomendados de diseño cuando las condiciones reales son parecidas a las ideales | 0,65 | 0,80 | 1,2 | 1,0 | 2,10 | 2,0 |
| Símbolos para las condiciones de extremo | | | | | | |
| | Rotación y traslación impedidas | Rotación libre y traslación impedida | Rotación impedida y traslación libre | Rotación y traslación libres | | |

Fuente Manual of Steel Construction Allowable Stress Design, del American Institute of Steel Construction, novena edición (Chicago: AISC, 1989), tabla C-C2.1. "Commentary on the Specification for Structural Steel Buildings Allowable Stress Design and Plastic Design", pag. 5-135. Reimpreso con autorización del AISC.

Figura 2.2 Longitudes efectivas de columnas

Así conocida la longitud efectiva de una columna se puede hablar de la relación de esbeltez para estos miembros que es de máximo 200, o sea, que $KL/r = 200$, esta recomendación está dada por la especificación ASD – B7

2.5.2.2 Fórmula ASD ASHTO

Esta fórmula está hecha tomando cuenta el efecto de los esfuerzos residuales, las condiciones reales de restricción en los extremos y las resistencias variables de los diferentes aceros.

Luego del respectivo análisis matemático se obtiene:

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(KL/r)^2}{2C_c^2} \right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(KL/r)}{8C_c} - \frac{(KL/r)^3}{8C_c}}$$

Donde:

C_c = Relación de Esbeltez

F_a = Esfuerzo axial permisible (P/A)

La fórmula ASD conduce a diseños más lógicos y económicos, para todas las relaciones de esbeltez, que los proporcionados por las expresiones más antiguas.

2.5.2.3 Relación de Esbeltez

El ASD supone que debido a los esfuerzos residuales, el límite superior del pandeo elástico está definido por un esfuerzo promedio igual a la mitad del esfuerzo de fluencia ($1/2 F_y$). Si este esfuerzo se iguala con la expresión de Euler, el valor de la relación de esbeltez en este límite superior puede determinarse para un acero particular. Este valor se denomina C_c , que separa el pandeo elástico del inelástico (Figura 2.3) y se determina como sigue:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}}$$

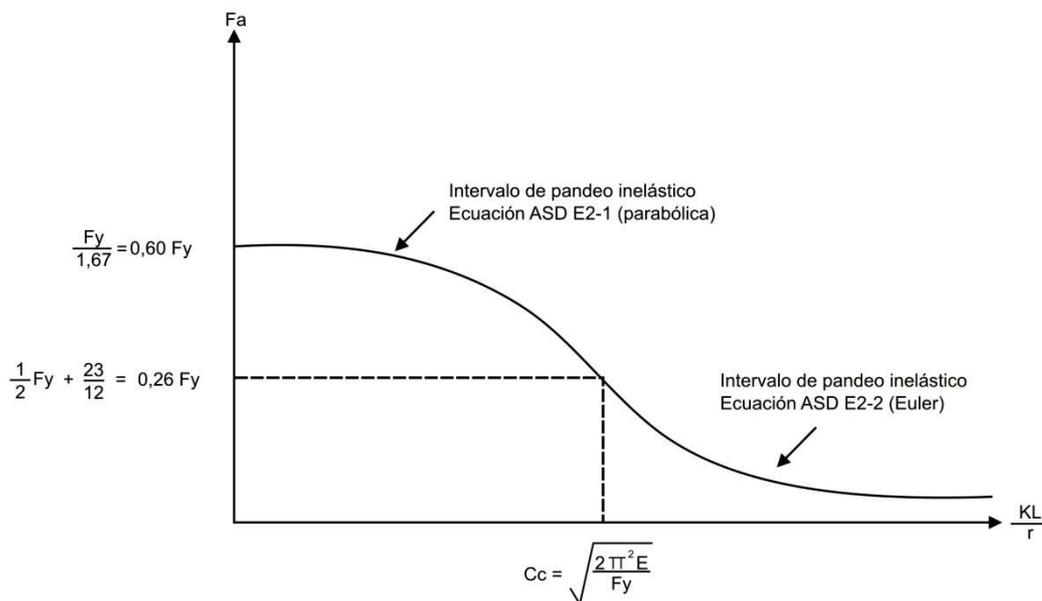


Figura 2.3 Curva ASD para esfuerzos permisibles en columnas

Cuando se tiene valores de esbeltez KL/r mayores que C_c se usa la fórmula de Euler sino es así se usa la fórmula ASD.

Las expresiones son algo complicadas para resolverlas matemáticamente, pero como se dispone de las tablas en la parte 3 del manual ASD (Anexo 3 Tablas manual aisc pg. 3-5) para columnas con $F_y = 36$ kpsi y $F_y = 50$ kpsi, los diseños se pueden efectuar con poca dificultad.

Esas tablas facilitan considerablemente los cálculos de columnas. Ellas incluyen las cargas permisibles de cada uno de los perfiles normalmente usados como columnas (W, M, S, tubos, tubulares, par de ángulos y tés estructurales) para la mayoría de las longitudes efectivas de uso común. Los valores se dan con respecto al radio de giro mínimo para aceros con $F_y = 36$ y 50 kpsi (exceptuando los tubulares cuadrados y rectangulares que existen sólo en acero con $F_y = 46$ kpsi).

2.5.3 VENTAJAS DE LOS PERFILES TIPO I EN COMPRESIÓN

Existen varios perfiles en la industria usados como columnas en la erección de estructuras, entre ellos están:

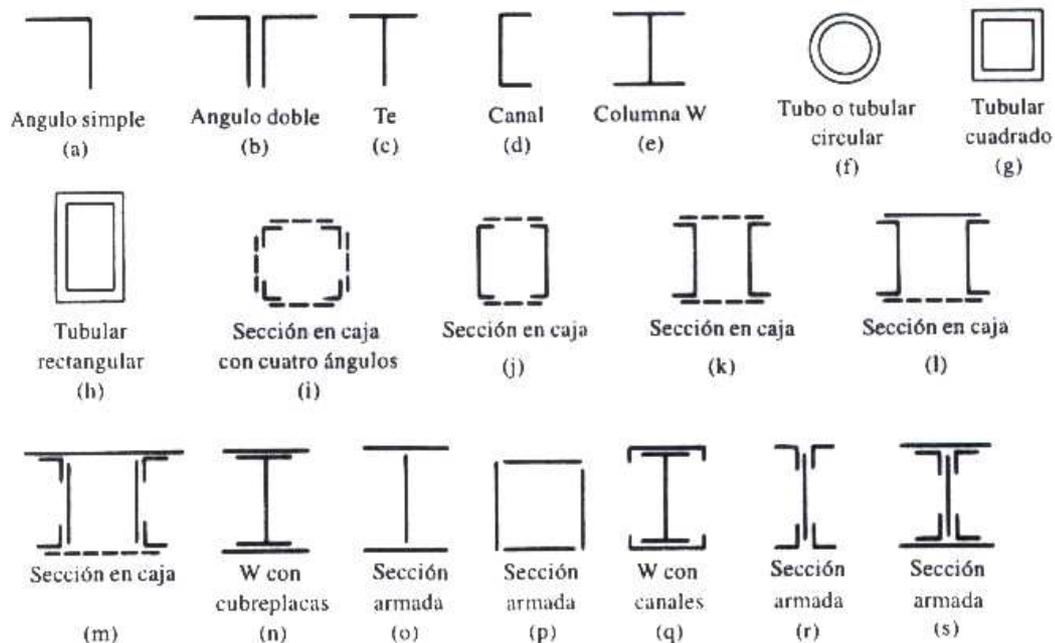


Figura 2.4 Tipos de miembros sometidos a compresión

Sin embargo los perfiles tipo I en la industria tienen las siguientes ventajas:

- Poseen momentos resistentes mucho mayores para el mismo peso comparados con los perfiles tubulares

- Un perfil sencillo tal como el tipo I, es más económico que una sección armada que tenga la misma área en su sección transversal

2.6 ESFUERZOS DE FLEXIÓN EN PERFILES TIPO I

Las vigas son miembros que soportan cargas transversales. Se usan generalmente en posición horizontal y quedan sujetas a cargas por gravedad o verticales.

Existen muchos tipos de vigas entre los que se mencionarán: viguetas, dinteles, vigas de fachada, largueros de puente y vigas de piso.

2.6.1 DEFINICIÓN DE FLEXIÓN

En ingeniería se denomina flexión al tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. El término "alargado" se aplica cuando una dimensión es dominante frente a las otras. Un caso típico son las vigas, las que están diseñadas para trabajar, principalmente, por flexión. Igualmente, el concepto de flexión se extiende a elementos estructurales superficiales como placas o láminas.

El rasgo más destacado es que un objeto sometido a flexión presenta una superficie de puntos llamada fibra neutra tal que la distancia a lo largo de cualquier curva contenida en ella no varía con respecto al valor antes de la deformación.

2.6.2 FÓRMULAS PARA MIEMBROS SOMETIDOS A FLEXIÓN

Considérese una viga una viga de sección rectangular y los diagramas de esfuerzo de la figura 2.5. Si la viga está sujeta al momento flexionante el esfuerzo en cualquier punto puede calcularse con la fórmula de la flexión: $f_b = Mc/I$. El valor I/c es una constante para una sección específica y se denomina módulo de sección (S). La fórmula de sección puede escribirse de la siguiente manera:

$$f_b = \frac{M}{S}$$

Donde:

f_b = Esfuerzo de flexión

M = Momento de flexionante

S = Módulo de sección

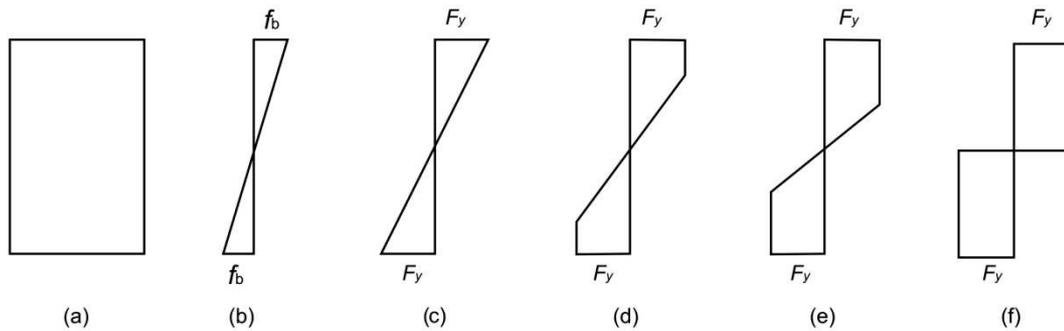


Figura 2.5 Diagramas de esfuerzo de flexión

Inicialmente, cuando el momento se aplica a la viga, el esfuerzo varía linealmente desde la fibra neutra hasta las fibras extremas. Esta situación se muestra en la figura 2.5 (b). Si se incrementa el momento se mantendrá la variación lineal de los esfuerzos hasta que se alcanza el esfuerzo de fluencia en las fibras extremas como se muestra en la parte (c) de la figura.

Cuando el momento se incrementa más allá del esfuerzo de fluencia, las fibras extremas que se encontraban previamente sometidas al esfuerzo de fluencia se mantendrán bajo ese mismo esfuerzo, pero en estado de fluencia y el momento resistente adicional necesario lo proporcionan las fibras más cercanas al eje neutro. Este proceso continuará con más y a partes de la sección transversal de la viga, alcanzando el esfuerzo de fluencia como se muestra en los diagramas de esfuerzo de la figura anterior en sus partes (d) y (e), hasta que finalmente se alcanza la distribución plástica total mostrada en (f). Cualquier momento adicional en la viga causará una rotación en esta con un pequeño incremento del esfuerzo

Si una viga se va a diseñar con un momento flexionante M dado y para un cierto esfuerzo permisible F_b , el módulo de sección necesario para que la viga tenga suficiente resistencia a la flexión puede obtenerse con la fórmula de flexión:

$$\frac{M}{F_b} = \frac{I}{c} = S$$

Donde:

I = Momento de inercia

c = Distancia a la fibra neutra

F_b = Esfuerzo permisible

La especificación ASD-F1 da diferentes esfuerzos permisibles por flexión para diferentes condiciones, para la mayoría de los casos, el esfuerzo permisible por flexión es:

$$F_b = 0.66F_y$$

Con la ayuda de la tabla de selección para el diseño por esfuerzos permisibles, Anexo 4 (aisc manual pg. 2-7), pueden seleccionarse rápidamente perfiles de acero con el módulo de sección requerido. Dos aspectos importantes deben recordarse al seleccionar perfiles:

1. El costo de los perfiles depende de su peso por lo que debe seleccionarse el perfil más ligero posible que tenga el módulo de sección requerido.
2. Los valores de los módulos de sección en la tabla son respecto al eje fuerte de las secciones. Para secciones “acostadas”, es decir, con flexión respecto a su eje débil, los valores correspondientes del módulo de sección pueden encontrarse en las tablas de dimensiones y propiedades de perfiles del manual ASD.

Una ventaja importante que hay que mencionar es que casi todos los perfiles de sección W y S de acero A36 pueden considerarse como de sección compacta, así que son capaces de desarrollar la totalidad de su momento plástico antes de que ocurra cualquier falla por pandeo local.

2.7 ESFUERZOS DE CORTANTE EN PERFILES TIPO I

Aunque el tamaño de una viga de acero es rara vez regido por la cortante, es conveniente revisarlas por este concepto particularmente si son cortas y tiene cargas de gran intensidad.

La viga mostrada en la figura 2.6 (a) está sometida a dos tipos de acción cortante: transversal y longitudinal. En la parte (b) de esta figura se muestra la acción cortante transversal, se observa la tendencia de la parte izquierda de la viga a deslizarse con respecto a la parte derecha de esta en la sección mostrada. Este tipo de falla por cortante no ocurre en una viga común de acero porque primero se presente e aplastamiento del alma. Sin embargo, el cortante transversal puede ocasiona la falla en vigas que han sido recortadas, como se muestra en la parte (c) de la figura.

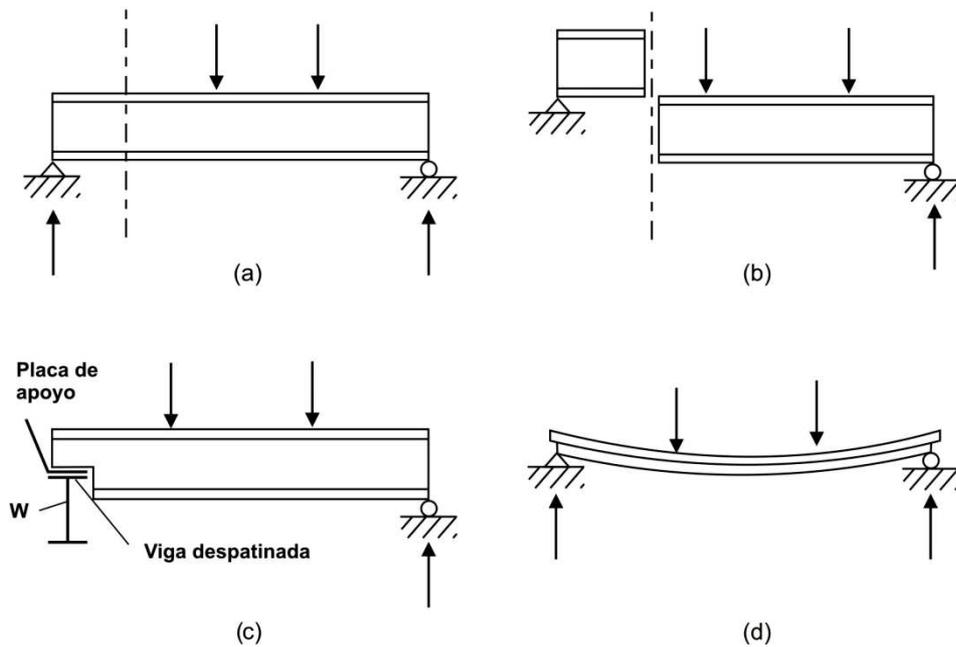


Figura 2.6 Cortante en una viga

En la figura 2.6 (d) se muestra el otro tipo de cortante que ocurre debido a la flexión del elemento. Si la flexión es positiva las fibras inferiores se alargan mientras que las superiores se acortan, definiéndose así un plano neutro. Debido a estas deformaciones variables, una fibra en particular tiene la tendencia a deslizarse sobre la fibra de arriba o de abajo.

Estos esfuerzos mencionados por separado siempre se presentan simultáneos, no pudiendo ocurrir el uno sin el otro.

2.7.1 FÓRMULAS PARA MIEMBROS SOMETIDOS A CORTE

El esfuerzo cortante transversal medido en la sección de una viga en un cierto punto, es igual a la fuerza cortante e externa dividida entre el área de la sección transversal de la viga. Esta definición muestra que el esfuerzo cortante

no es constante en la sección transversal, tiene un valor nulo en las fibras externas y un máximo en el eje neutro. La fórmula que representa el momento cortante se muestra a continuación:

$$f_v = \frac{VQ}{bI}$$

Donde:

V = Fuerza cortante externa en la sección considerada

Q = Momento estático respecto al eje neutro de la porción de la sección transversal localizado arriba o abajo del nivel en que f_v se está calculando

I = Momento de inercia en toda la sección respecto al eje neutro

b = Ancho de la sección en el lugar en que se calcula el esfuerzo cortante

f_v = Esfuerzo cortante

Las especificaciones ASD F4 establecen que el esfuerzo cortante permisible sea igual a:

$$F_v = 0.40F_y$$

Si:

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{380}{\sqrt{F_y}}$$

Donde:

h = Distancia libre entre patines de vigas I

t_w = Ancho del alma de la viga I

Casi todas las secciones laminadas caen en esta clase. Para calcular la fuerza cortante máxima permisible se puede utilizar esta fórmula resumida:

$$V = F_v h t_w$$

En las tablas de vigas del manual de la ASD el valor de V está tabulado para cada una de las secciones normalmente usadas como vigas con esfuerzos de fluencias de 36 y 50 kpsi

CAPÍTULO 3

3.1 CONCEPTOS DE MANUFACTURA

3.1.1 INTRODUCCIÓN

A pesar de que la propuesta de este documento es la creación de una planta de producción más bien pequeña, es muy importante tomar en cuenta las nuevas tendencias en los procesos, como la aplicación del concepto “justo a tiempo” y “control total de la calidad”. Por eso es que en este capítulo se abordan temas como la disminución de tiempos en los procesos, mejoramiento de la calidad del producto, motivación del personal, disminución de costos de producción para alcanzar la excelencia en la manufactura.

Se explicarán conceptos aplicados a las grandes industrias manufactureras mundiales, sobre todo aquellos desarrollados por las culturas orientales que tiene experiencia en demostrar su eficacia y eficiencia.

3.2 MANUFACTURA DE CATEGORÍA MUNDIAL³

Es un término que explica la amplitud y la esencia de los cambios fundamentales que se están realizando en las empresas mundiales, estos cambios se dan en elementos de la producción como: administración de la calidad, clasificaciones del trabajo, relaciones laborales, capacitación, apoyo administrativo, compras, relaciones con proveedores y clientes, diseño de productos, organización de plantas, programación, manejo de inventarios, manejo y transporte de materiales, selección y mantenimiento de equipos, sistema de contabilidad, el papel del computador la automatización y otros.

Básicamente la manufactura de categoría mundial busca el mejoramiento continuo y rápido, y para lograra esto utiliza tres herramientas principales: La producción justo a tiempo, el control total de la calidad y el mantenimiento preventivo total.

³ [Manufactura de Categoría Mundial; Shonberger, Richard]

3.3 PRODUCCIÓN JUSTO A TIEMPO

La filosofía del "justo a tiempo" se fundamenta principalmente en la reducción del desperdicio y por supuesto en la calidad de los productos o servicios, a través de un profundo compromiso de todos y cada uno de los integrantes de la organización así como una fuerte orientación a sus tareas que de una u otra forma se va a derivar en una mayor productividad, menores costos, calidad, mayor satisfacción del cliente, mayores ventas y muy probablemente mayores utilidades.

La finalidad de un sistema justo a tiempo es poder proveer al cliente de un determinado producto justo cuando este lo solicite, facilitando así la tarea del departamento de mercadeo de la empresa pues siempre habrá un determinado modelo o producto en stock.

Esto se puede conseguir con tamaños de lote pequeños, llegando incluso a reducir el tamaño hasta a una unidad por lote, esto permite la fabricación de algunos ejemplares de cada modelo diariamente.

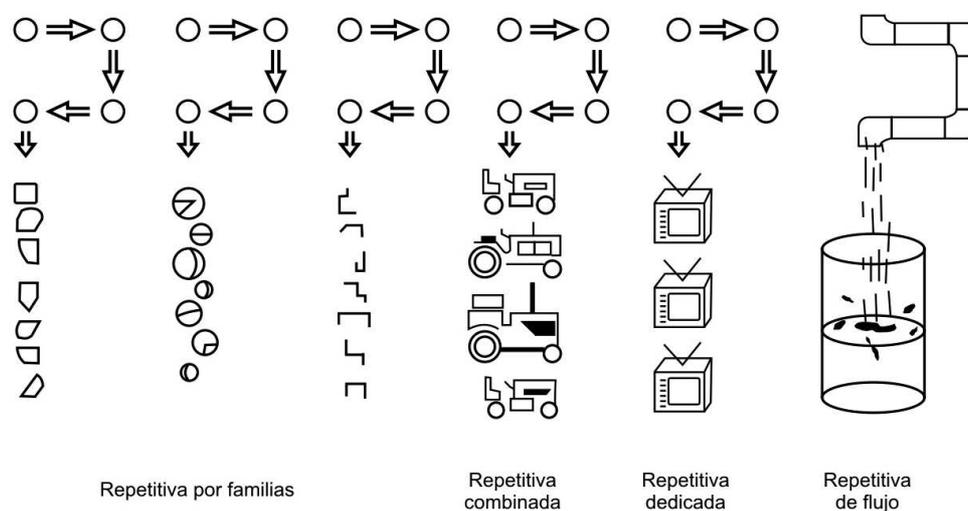
El otro tipo de plantas que tienen un sistema de producción justo a tiempo son las fábricas que tiene un proceso continuo, como por ejemplo plantas con líneas de producción dedicadas, pero generalmente estas fábricas tiene una producción que amerita crear líneas dedicadas para la fabricación de un determinado producto o tiene una capacidad de producción que es barata.

Las empresas en las industrias de proceso, es decir con líneas dedicadas, deben aprender a cambiar de una línea a otra tan rápidamente que no sea necesario elaborar grandes lotes de un tipo de producto.

En las industrias de ensamble la aplicación del sistema justo a tiempo suele ser más fácil, esto es posible si se el trabajo se sitúa en orden, con cada pieza y con cada herramienta en el lugar correcto y preciso, para evitar la pérdida de eficiencia cuando el ensamblador tenga que buscar algo.

Cuando se tiene industrias de ensamble donde se ensamblan productos con muchísimas piezas, lo que se debe hacer es agrupar las piezas por familias de producción. Una familia de producción es un grupo de piezas que siguen más o menos la misma trayectoria del proceso. Se despeja una zona en el taller y se colocan las máquinas y personal necesario para poder dejar

varios productos semi terminados para que entren de nuevo a la línea de producción o pasar a otra zona para seguir en el proceso de producción. A estas zonas se les denomina células de producción, en estas las máquinas deben estar cerca las unas de las otras de tal manera que no se necesiten estantes recipientes ni montacargas, basta un operario una canaleta o un dispositivo sencillo para trasladar una pieza de estación a estación. En las células se fabrican distintas piezas pero todas pasan por los mismos procesos. Los productos o subproductos de una familia deben tener tiempos de producción similares, requisitos de herramienta y accesorios y necesidades de inspección.



Figura

Figura 3.1 Células de producción, manufactura repetitiva.

3.3.1 ELEMENTOS DE LA FILOSOFÍA JUSTA A TIEMPO (JAT)

Existen siete elementos, seis de ellos son a nivel interno de la empresa y el último es a nivel externo.

El tercer, cuarto y quinto elemento están relacionados con la ingeniería de producción.

1. La filosofía JAT en sí misma
2. Calidad en la fuente
3. Carga fabril uniforme
4. Las operaciones coincidentes (celdas de maquinaria o tecnología de grupo)

5. Tiempo mínimo de alistamiento de máquinas
6. Sistema de control conocido como sistema de halar o kamban.
7. Compras JAT

El primer elemento considera la eliminación del desperdicio, considerado este como el punto medular de todo el fenómeno JAT.

Los seis elementos restantes son técnicas o modos de cómo eliminar el desperdicio, sin embargo no todos tienen igual importancia, pues se considera a la calidad como el segundo elemento de importancia, que se constituye en un componente básico para el JAT.

Los cinco elementos restantes se clasifican como técnicas de flujo, es decir la manera como el proceso fabril avanza de una operación a la siguiente.

Existe otro elemento fundamental que debería estar presente en todos y cada uno de los elementos antes mencionados la intervención de las personas, el recurso humano.

Para ello es necesario desarrollar una cultura de intervención de las personas, de trabajo en equipo, de involucramiento de las personas con las tareas que realiza, de compromiso o lealtad de los colaboradores con los objetivos de la empresa, para que el JAT funcione.

Es así como la técnica denominada "justo a tiempo" (JAT) es mucho más que un sistema que pretende disminuir o eliminar inventarios, es una filosofía que rige las operaciones de una organización. Su fin es el mejoramiento continuo, para así obtener la máxima eficiencia y eliminar a su vez el gasto excesivo de cualquier forma en todas y cada una de áreas de la organización, sus proveedores y clientes.

El "gasto" se considera como toda aquella actividad que no agrega valor al producto o servicio. De ahí que su aplicación requiere del compromiso total de la dirección y de los empleados en todos los niveles, particularmente del operario de la línea de producción

3.3.2 BENEFICIOS O VENTAJAS

Estos beneficios se derivan de la experiencia de diversas industrias, que han aplicado esta técnica.

- a. Reduce el tiempo de producción.
- b. Aumenta la productividad.
- c. Reduce el costo de calidad.
- d. Reduce los precios de material comprado.
- e. Reduce inventarios (materiales comprados, obra en proceso, productos terminados).
- f. Reduce tiempo de alistamiento.
- g. Reducción de espacios.
- h. Reduce la trayectoria del producto entre el fabricante, el almacén y el cliente.
- i. Se puede aplicar a cualquier tipo de empresa que reciba o despache mercancías.
- j. Se basa en el principio de que el nivel idóneo de inventario es el mínimo que sea viable.
- k. Es una metodología más que una tecnología que ha ganado mucha aceptación, sin embargo pocas empresas han creado la disciplina y los sistemas necesarios para aplicarlo efectivamente.

3.4 CONTROL TOTAL DE LA CALIDAD

La calidad empresarial es una actitud, acción y disciplina de todos los integrantes de la empresa, hacia la cultura por la calidad empresarial para adquirir un nivel más alto de aptitud de calidad (dentro de ciertas condiciones) y dirigirlas a satisfacer al consumidor.

El control total de la calidad es más bien el control de administración misma, esta fue originada por el Dr. Armand Feigenbaum el definió que es como un sistema eficaz para integrar los esfuerzos en materia de desarrollo de calidad

de manera integral en una organización con el fin de producir bienes y servicios con un nivel aceptable de economía y satisfacción al cliente.

El fin primordial del control total de la calidad es lograr una producción con cero defectos, hacer que la primera pieza que se produce, el primer metro de lámina metálica, etcétera estén listos para salir a la venta, es decir, hacerlo bien a la primera vez.

Según Deming el control total de la calidad debe seguir los siguientes pasos:

- a. Crear en el propósito de mejora del producto y servicio, con un plan para ser competitivo y permanecer en el campo de los negocios.
- b. Adoptar una nueva filosofía eliminar los niveles comúnmente aceptados de demoras, errores, productos defectuosos.
- c. Suspender la dependencia de la inspección masiva, se requiere evidencia estadística de que el producto se hace con calidad.
- d. Eliminar la práctica de hacer negocio sobre la base del precio de venta, en vez de esto, mejore la calidad por medio del precio, es decir minimice el costo total.
- e. Buscar áreas de oportunidad de manera constante para que se puedan mejorar los sistemas de trabajo de manera permanente.
- f. Instituir métodos modernos de entrenamiento en el trabajo.
- g. Instituir una supervisión para que fomente el trabajo en equipo con el objeto de mejorar la calidad lo cual automáticamente mejore la productividad.
- h. Eliminar el temor, de modo que todos puedan trabajar efectivamente para una empresa.
- i. Romper barreras entre los departamentos. Debe existir comunicación entre todos los integrantes de la empresa, ya que todos tienen un objetivo común.
- j. Eliminar slogans y metas enfocadas a incrementar la productividad sin proveer métodos.

- k. Eliminar estándares de trabajo que prescriben cuotas numéricas ya que si la principal meta es la cantidad, la calidad se va a ver afectada.
- l. Eliminar las barreras que se encuentran entre el trabajador y el derecho a sentirse orgulloso de su trabajo.
- m. Instituir un vigoroso programa de educación y entrenamiento que permita desarrollar nuevos conocimientos y habilidades para tener personal más calificado en beneficio de la empresa.
- n. Crear una estructura en la alta dirección que impulse diariamente los 13 puntos anteriores.

3.4.1 CONCEPTOS BÁSICOS PARA UN CONTROL TOTAL DE LA CALIDAD

3.4.1.1 Mejoramiento Continuo

La administración del control de la calidad requiere de un proceso constante, que será llamado mejoramiento continuo, donde la perfección nunca se logra pero siempre se busca. En USA utilizan la expresión cero defectos y seis sigma para describir los esfuerzos continuos de mejoramiento. Cualquiera que sea la palabra o frase utilizada, los administradores son figuras claves en la construcción de una cultura de trabajo que apoya el mejoramiento continuo. La calidad es una búsqueda sin fin.

3.4.1.2 Involucrar al Empleado.

Se ha detectado que el 85% de los problemas de calidad tiene que ver con los materiales y los procesos y no con el desempeño del empleado por lo tanto la tarea consiste en diseñar el equipo y los procesos que produzcan la calidad deseada. Esto se puede lograr con un alto grado de compromiso de todos aquellos involucrados con el sistema en forma diaria ya que lo entienden mejor que mide: Las técnicas para construir la confianza de los empleados incluyen:

- a. La construcción de redes de comunicación que incluyan a los empleados.
- b. Supervisiones abiertas y partidarias.

- c. Mudar la responsabilidad de administración y asesoría a los empleados de producción.
- d. Construir organizaciones con moral alta.
- e. Técnicas formales como la creación de equipos y círculos de calidad.

3.4.1.3 Círculos de calidad.

Es un grupo formado entre 6 y 12 empleados voluntarios, que se reúnen en forma regular para resolver problemas relacionados con el trabajo, reciben capacitación de planeación en grupo, solución de problemas y control estadístico de la calidad.

3.5 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL⁴

El objetivo del mantenimiento de máquinas y equipos se lo puede definir cómo conseguir un determinado nivel de disponibilidad de producción en condiciones de calidad exigible, al mínimo coste y con el máximo de seguridad para el personal que las utiliza y mantiene.

Por disponibilidad se entiende la proporción de tiempo en que está dispuesta para la producción respecto al tiempo total. Esta disponibilidad depende de dos factores críticos:

- a. La frecuencia de las averías, y
- b. El tiempo necesario para reparar las mismas.

El primero de dichos factores recibe el nombre de fiabilidad, es un índice de la calidad de las instalaciones y de su estado de conservación, y se mide por el tiempo medio entre averías.

El segundo factor denominado mantenibilidad es representado por una parte de la bondad del diseño de las instalaciones y por otra parte de la eficacia del servicio de mantenimiento. Se calcula como el inverso del tiempo medio de reparación de una avería.

En consecuencia, un adecuado nivel de disponibilidad se alcanzará con unos óptimos niveles de fiabilidad y de mantenibilidad. Es decir, que ocurran pocas averías y que éstas se reparen rápidamente.

⁴ [Mantenimiento Productivo Total; Lefcovich, Mauricio]

El mantenimiento productivo total adopta cómo filosofía el principio de mejora continua desde el punto de vista del mantenimiento y la gestión de equipos. El Mantenimiento Productivo Total ha recogido también los conceptos relacionados con el Mantenimiento Basado en el Tiempo (MBT) y el Mantenimiento Basado en las Condiciones (MBC).

El MBT trata de planificar las actividades de mantenimiento del equipo de forma periódica, sustituyendo en el momento adecuado las partes que se prevean de dichos equipos, para garantizar su buen funcionamiento. En tanto que el MBC trata de planificar el control a ejercer sobre el equipo y sus partes, a fin de asegurarse de que reúnan las condiciones necesarias para una operativa correcta y puedan prevenirse posibles averías o anomalías de cualquier tipo.

El mantenimiento productivo total constituye un nuevo concepto en materia de mantenimiento, basado este en los siguientes cinco principios fundamentales:

- a. Participación de todo el personal, desde la alta dirección hasta los operarios de planta. Incluir a todos y cada uno de ellos permite garantizar el éxito del objetivo.
- b. Creación de una cultura corporativa orientada a la obtención de la máxima eficacia en el sistema de producción y gestión de los equipos y maquinarias. De tal forma se trata de llegar a la Eficacia Global.
- c. Implantación de un sistema de gestión de las plantas productivas tal que se facilite la eliminación de las pérdidas antes de que se produzcan y se consigan los objetivos.
- d. Implantación del mantenimiento preventivo como medio básico para alcanzar el objetivo de cero pérdidas mediante actividades integradas en pequeños grupos de trabajo y apoyado en el soporte que proporciona el mantenimiento autónomo.
- e. Aplicación del sistema de gestión de todos los aspectos de la producción, incluyendo diseño y desarrollo, ventas y dirección.

La aplicación del mantenimiento productivo total garantiza a las empresas resultados en cuanto a la mejora de la productividad de los equipos, mejoras corporativas, mayor capacitación del personal y transformación del puesto de trabajo.

Entre los objetivos principales y fundamentales del mantenimiento productivo total se tienen:

- a. Reducción de averías en los equipos.
- b. Reducción del tiempo de espera y de preparación de los equipos.
- c. Utilización eficaz de los equipos existentes.
- d. Control de la precisión de las herramientas y equipos.
- e. Promoción y conservación de los recursos naturales y economía de energéticos.
- f. Formación y entrenamiento del personal.

3.5.1 ACTIVIDADES FUNDAMENTALES

3.5.1.1 Mantenimiento Autónomo

Comprende la participación activa por parte de los operarios en el proceso de prevención a los efectos de evitar averías y deterioros en las máquinas y equipos. Tiene especial trascendencia la aplicación práctica de las Cinco "S". Una característica básica del TPM es que son los propios operarios de producción quienes llevan a término el mantenimiento autónomo, también denominado mantenimiento de primer nivel. Algunas de las tareas fundamentales son: limpieza, inspección, lubricación, aprietes y ajustes.

3.5.1.2 Aumento de la efectividad del equipo mediante la eliminación de averías y fallos

Se realiza mediante medidas de prevención vía rediseño-mejora o establecimiento de pautas para que no ocurran.

3.5.1.3 Mantenimiento Planificado

Implica generar un programa de mantenimiento por parte del departamento de mantenimiento. Constituye el conjunto sistemático de actividades programadas a los efectos de acercar progresivamente la planta productiva a los objetivos de: cero averías, cero defectos, cero despilfarros, cero accidentes y cero contaminaciones. Este conjunto de labores serán ejecutadas por personal especializado en mantenimiento.

3.5.1.4 Prevención de Mantenimiento

Mediante los desarrollo de ingeniería de los equipos, con el objetivo de reducir las probabilidades de averías, facilitar y reducir los costos de mantenimientos. Se trata pues de optimizar la gestión del mantenimiento de los equipos desde la concepción y diseño de los mismos, tratando de detectar los errores y problemas de funcionamiento que puedan producirse como consecuencia de fallos de concepción, diseño, desarrollo y construcción del equipo, instalación y pruebas del mismo hasta que se consiga el establecimiento de su operación normal con producción regular. El objetivo es lograr un equipo de fácil operación y mantenimiento, así como la reducción del período entre la fase de diseño y la operación estable del equipo y la elevación en los niveles de fiabilidad, economía y seguridad, reduciendo los niveles y riesgos de contaminación.

3.5.1.5 Mantenimiento Predictivo

Consistente en la detección y diagnóstico de averías antes de que se produzcan. De tal forma pueden programarse los paros para reparaciones en los momentos oportunos. La filosofía de este tipo de mantenimiento se basa en que normalmente las averías no aparecen de repente, sino que tienen una evolución. Así pues el Mantenimiento Predictivo se basa en detectar estos defectos con antelación para corregirlos y evitar paros no programados, averías importantes y accidentes. Entre los beneficios de su aplicación tenemos: a) Reducción de paros; b) Ahorro en los costos de mantenimiento; c) Alargamiento de vida de los equipos; d) Reducción de daños provocados por averías; e) Reducción en el número de accidentes; f) Más eficiencia y calidad en el funcionamiento de la planta; g) Mejoras de relaciones con los clientes, al disminuir o eliminar los retrasos. Entre las tecnologías utilizadas para el monitoreo predictivo tenemos: a) análisis de vibraciones; b) análisis de muestras de lubricantes; c) termografía; y, d) Análisis de las respuestas acústicas.

3.6 PERSONAL⁵

El motor de toda empresa son las personas que en ella laboran, es por esto que se vuelve muy importante la educación y motivación del personal tanto administrativo como productivo.

3.6.1 CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS

Una manera importante y eficaz de proyectar la empresa a ser una empresa con manufactura de calidad mundial, es el control de del proceso a través de datos de producción, el objetivo de estos datos debe ser revelar y luego eliminar los sucesos malos para la empresa.

Es el personal directamente involucrado en la producción el que debe tomar estos datos, el operario que consiga los datos se inclinará a pensar en soluciones. Los obreros no deben ser simples observadores, sino deben tratar de dar soluciones a problemas que suelen presentarse en producción, para esto se colocan los datos obtenidos por los trabajadores en lugares visibles detallando el problema y el número se ocurrencias de este y se designa un tiempo al final del día para que los trabajadores que se interesen, tengan una reunión con el jefe de mantenimiento para hablar sobre el por qué del problema y su frecuencia, esto desencadenará una serie de sucesos que involucran al departamento de compras, al de calidad, administradores, gerencia, etc. y finalmente se dará una solución permanente al problema.

El control estadístico de procesos no es muy útil en una planta de fabricación por pedidos, ya que las cantidades en cada pedido suelen ser muy pequeñas para sacar muestras. Para esto existen otras maneras de control de los procesos:

- Mantener herramientas limpias y afiladas, los medidores calibrados, los equipos en perfectas condiciones, los planos y especificaciones correctas, las herramientas y materiales en su lugar y los procedimientos actualizados y visibles.
- No hacer unidades parciales y no permitir que se acumulen los artículos defectuosos para rehacer.

⁵ [Manufactura de Categoría Mundial; Shonberger, Richard]

- Tratándose de lotes pequeños se emplean diagramas de mediciones individuales y cuadros de precontrol.

Los inspectores de calidad no solo deben estar destinados a verificar la calidad del producto, deben motivar al personal para que ellos mismos se autoevalúen en la calidad de su trabajo y monitorearlos constantemente para que el orden y la limpieza en la planta se mantengan siempre. Para esto obligatoriamente tienen que estar en la fábrica, junto con el trabajador, y no solo en sus oficinas manejando datos estadísticos. Para esto los supervisores pueden evaluar seis factores principales:

- Poner las cosas en orden, arreglo del sitio de trabajo.
- Manejo de las existencias a mano.
- Equipo y herramientas.
- Inspección
- Autocontrol y manejo de los procesos de producción para garantizar la calidad.
- Prepara manuales y avisos en los muros.

3.6.2 ELIMINACIÓN DE INCENTIVOS SALARIALES

Para una empresa con manufactura de calidad mundial, hay muy poco o ningún lugar para incentivos de dinero.

Los incentivos de dinero pueden ser no tan malos en la producción por lotes, donde se busca fabricar todo lo que se pueda. Son malos en la modalidad justo a tiempo, en la cual la premisa es fabricar solo lo que se va a utilizar, a medida que se utiliza.

Existe una fuerte aversión al cambio de parte de los trabajadores de empresas donde existen los incentivos monetarios, por obvias razones, pero una manera de efectuar la transición es introducir gradualmente el pago por conocimientos o número de trabajos que domina el empleado, mientras se van disminuyendo los pagos por unidades producidas.

Otra posibilidad prometedora es poner a todos los jornaleros en la nómina. Esto representa mayor estabilidad económica pero les ofrece menos oportunidades de recibir un grueso cheque de vez en cuando.

Otra manera sería formar células y pagar un incentivo por grupos. El mejor incentivo sería aquel que el pago adicional fuera por calidad, precisión y por cumplir (no sobrepasar) la cuota diaria.

3.6.3 EFECTOS COMPENSATORIOS

La solución de problemas en forma continua y rápida es asunto que incumbe a todos. La toma de datos de producción ha sido algo que se ha hecho desde hace mucho y es solo el inicio de la solución de problemas, datos que luego son analizados por un grupo muy competente de ingenieros expertos muy bien pagados.

La manufactura de calidad mundial reduce la necesidad de expertos analistas de datos, ya que el operario de línea es el que registra y mide los datos sobre problemas y al hacerlo es natural que reflexione sobre los datos e intente diagnosticar el problema. Esta reflexión frecuente lleva a soluciones obvias, sencillas y de sentido común, o sea, las mejores soluciones.

Los funcionarios, es decir, todo el personal administrativo, supervisores, inspectores de calidad, etcétera deben estar siempre disponibles para ayudar a los operarios en cualquier problema que pueda ocurrir. Para esto, como ya se mencionó, este personal debe estar involucrado directamente en el proceso productivo y esto se logra incluso trasladando los escritorios de los funcionarios a la planta misma.

Podría parecer que al sacar al personal administrativo constantemente a la planta, se necesitarían más administradores para “cuidar la tienda”, pero esto no es así porque la parte administrativa se vuelve más eficaz y se observan efectos compensatorios como:

3.6.3.1 Mejor mantenimiento con menos personas en el departamento de mantenimiento de la planta.

Al ser los mismo operarios quienes dan mantenimiento a sus máquinas adquieren un sentido de responsabilidad por el equipo bajo su cargo.

Una cadena de administradores atentos y sensatos, comenzando por el supervisor de primera línea, se encarga de que el operario llegue a adoptar esta actitud y no se vuelva descuidado. Esto conlleva a un menor costo en el mantenimiento debido a que, los operarios pueden hacer parte del mantenimiento preventivo, reparaciones y aseo en los momentos de espera y demora que todo operario tiene, y el operario que se siente responsable por el producto que fabrica se esforzará por mantener el equipo en buen estado, así hay menos costos por equipos inutilizables y mala producción.

El personal de mantenimiento, así reducido numéricamente, tendrá las siguientes funciones principales:

- Capacitar a los operarios enseñándoles que hacer y cómo hacerlo.
- Analizar datos sobre los componentes mal hechos.
- Desarmada y reacondicionamiento.

3.6.3.2 Mejor calidad con menos gente en el departamento de calidad.

Esto significa operarios que inspeccionan su propio trabajo o el trabajo de un operario anterior, uso de cuadros de control del proceso para evitar los productos malos y examen de las soluciones a los problemas de calidad.

Parecido a lo que ocurren en el departamento de mantenimiento, los inspectores de calidad disminuyen en número. Los costos por conceptos de calidad son mucho menores, ya que los operarios pueden cumplir parte de las funciones de calidad durante el ciclo laboral o en los momentos de demora, y con más esmero que el personal administrativo cuya responsabilidad es apenas secundaria.

3.6.3.3 Mejor contabilidad con menos contadores.

Cuando la fábrica es compleja y existen desperdicios, la contabilidad es compleja también y además tiene que manejar los costos de desperdicios. Cuando los operarios de línea se encargan del mantenimiento sencillo y el control de la calidad, los costos sustanciales de estas actividades se vuelven costos directos. Asignar la carga entre productos conduce a muchos errores, asignar los costos directos es fácil.

El personal de contabilidad siempre ha sido abundante en las plantas de fabricación por pedidos donde el volumen es bajo. Los estudios de tales plantas muestran que en muchos casos, más del 90 por ciento del tiempo de producción corresponde a demoras, el tiempo de contabilidad tiene que dedicarse a clasificar y llevar la cuenta de los factores que contribuyen al desperdicio y a las demoras. El sistema justo a tiempo elimina gran parte de la demora en la fabricación por pedidos y esto reduce mucho la labor de la contabilidad.

3.6.3.4 Mejor control de la producción son menos inspectores de producción.

Los departamentos de control de producción tienen planificadores, programadores y coordinadores, la gente que vela por el flujo de trabajo en la fábrica. Cuando los centros de trabajo se programan por separado y el trabajo se programa en lotes, el número de coordinadores es grande. Cuando los centros de trabajo están íntimamente relacionados, como en la modalidad justo a tiempo, un programa sirve para varios centros de trabajo y puede bastar la coordinación visual. Entonces el grupo de administradores se reduce.

3.6.3.5 Mejor manejo de materiales con menos personal.

Los empleados encargados de materiales deben mantener a mano la cantidad apropiada de existencias estar al tanto de ellas. Buena parte de la administración de materiales tiene que ver con el manejo y almacenamiento. Un gran paso adelante en la manufactura de calidad mundial es acercar los equipos al personal de ensamble juntándolos en células y líneas de flujo de manera que se elimine el manejo.

CAPÍTULO 4

4.1 GUÍA PARA EL USO DEL CÓDIGO AWS D1.1/D1.1M:2004⁶

4.1.1 OBJETIVOS E INFORMACIÓN GENERAL

La Guía para el uso del Código AWS, publicada por el Departamento de Educación de la Sociedad Americana de Soldadura, está diseñada en general para guiar y asistir a profesionales de la calidad (inspectores, supervisores, etc.), así como ingenieros y gerentes consientes de la calidad, a leer y entender Normas. Sin embargo ningún libro, guía o texto pueden substituir el conocimiento práctico y la experiencia. Trabajando a través de los ejemplos en el texto y respondiendo las preguntas la final de cada módulo es una parte de vital importancia en la Guía el código AWS.

Esta guía está comprendida de un módulo introductorio más nueve módulos adicionales. Cada módulo cubre una sección específica del código o un grupo de secciones.

Un grupo de preguntas de ejercicio está se proporciona al final de esta guía. Responder estas preguntas proporciona una valiosa revisión de la materia de cada módulo.

Los gráficos y cuadros de texto ilustran aspectos particulares de la norma bajo consideración. Los estudiantes están fuertemente aconsejados de hacer sus propias anotaciones en la figura, tabla o referencia de la norma donde sea aplicable. Solo el revisar el texto y esperar que la información llegue sola por osmosis no es muy productivo.

Es vital que la copia del código del estudiante sea revisada y físicamente se abra la página bajo consideración. Recordar citas textuales del código no es necesario ni deseable. El objetivo de esta guía es proveer familiaridad con el código AWS D1.1/C1.1M:2004 y el uso de un acercamiento sistemático. No es el objetivo de esta guía el animar la memorización de ninguna parte de este código.

6 [AWS D1.1/D1.1M; 2004 Code Clinic, AWS]

Las figuras y tablas más frecuentemente usadas deberán ser cuidadosamente revisadas. Trabajar físicamente con estas figuras y tablas para responder las preguntas ilustrativas es beneficioso y efectivo en el desarrollo de habilidades para la lectura de normas. Las preguntas de ejercicio encontradas al final de esta guía también ilustran el tipo de preguntas similares a las encontradas en la práctica. Estas deben contestarse durante el estudio formal de esta guía o al final del mismo.

El programa sugerido de estudio está mostrado en la tabla 4.1.

| |
|--|
| 1. Revisión de la sección o secciones consideradas del código |
| 2. Considerar cómo la materia del módulo es, o puede ser aplicable en la práctica. |
| 3. Responder las preguntas de ejercicio |

Tabla 4.1. Programa de estudio sugerido de esta guía.

4.1.2 INTRODUCCIÓN A LA GUÍA DEL CÓDIGO AWS

4.1.2.1 Introducción

La guía del código AWS está diseñada para asistir y guiar a profesionales de la calidad. La guía está particularmente dirigida a aquellos quienes su tarea primaria es el establecimiento de la calidad del producto. Esta guía emplea el uso del Código AWS D1.1/D1.1M Código de Soldadura Estructural de Acero, revisión 2004.

El uso del AWS D1.1 es una representación de los principios involucrados en leer cualquier código, norma, especificación o guía. Mientras cada uno de estos documentos tiene un propósito específico, los principios de uso son constantes. Las definiciones dadas en la tabla siguiente muestran las diferencias.

| |
|--|
| Un Código es “un cuerpo de leyes; a partir de nación, estado o grupo de industrias; arregladas sistemáticamente para la facilidad de uso y referencia.” Los ejemplos incluyen AWS D1.1, API1104, ASME sección VII y IX |
| Una Norma está “establecida para el uso como una ‘regla’ o base de comparación en la medición de la calidad, cantidad, contenido, valor relativo, etc.” Las normas ASTM para varios productos tales como ASTM A36 para aceros estructurales soldables, es un ejemplo. |
| Una Especificación es “una descripción detallada de las partes de un todo; una declaración o enumeración de particulares acerca de la calidad, tamaño, etc. actual o requerido.” Las especificaciones AWS para metal de aporte de la A5.1 a la A5.31 son ejemplos. |

| |
|---|
| Una Guía es un documento que sirve para guiar. La Guía Para Examinación Visual de Soldadura AWS B1.11, es un ejemplo. |
|---|

Tabla 4.2. Definiciones de documentos “Código”

Tales documentos son generalmente conocidos como códigos o normas. Como se mencionó anteriormente, mientras no es necesario ni deseable memorizar provisiones específicas, es esencial saber las maneras sobre cómo cada documento debe ser usado. Incluso haciendo referencia a provisiones del código usadas regularmente, la práctica preferida es mirar la provisión cada vez. Factores, inaplicables en otras instancias, pueden ser aplicados en ciertas circunstancias bajo consideraciones. El fracaso al referirse al código puede resultar en la inadvertencia de algunas provisiones vitales.

Recuerde, la calidad es medible en conformidad con la especificación.

Para establecer la calidad de un producto códigos, normas o especificaciones son invocadas o asignadas por los compradores. El documento o documentos designados así pueden convertirse en códigos, o algunas veces, la especificación a la cual el producto concerniente debe conformar. Así es vital que los profesionales de la calidad sean capaces de leer, entender y aplicar las provisiones del código gobernante así como la documentación aplicable ordenada por el comprador. Es por este propósito que la presente guía es presentada. Un ejemplo de tal documentación es el código AWS.

Para facilitar el trabajo con un código, es algo que vale la pena el indexar las secciones de este. AWS D1.1 tiene ocho secciones. Una tabla índice en el inicio de cada sección simplifica su uso. La experiencia también muestra que ciertas tablas son usadas frecuentemente. Estas también deberían ser marcadas para la facilidad de uso y referencia.

| | | |
|---|------------------------------|---|
| 1 | General Requirements | 1 |
| 2 | Design of Welded Connections | 2 |
| 3 | Prequalification of WPSs | 3 |
| 4 | Qualification | 4 |
| 5 | Fabrication | 5 |
| 6 | Inspection | 6 |

Figura 4.1. Marcación de las secciones del código AWS D1.1

Muchos códigos hacen extensivas notas al pie de página. Estas son usualmente explicadoras o cubren un caso especial. En la lectura de cualquier código, buscarlas cada vez, disminuye el riesgo de pasar por alto algunas calificaciones esenciales, quizás mencionadas solo en la nota al pie.

Por ejemplo, abra su copia de AWS D1.1 en la tabla 3.1 (p. 62-65). Observe que esa tabla contiene unos pequeños superíndices numerales. Estos se refieren a notas al pie que pueden cambiar algunos aspectos de las provisiones extraídas de la tabla. Las notas generales están listadas al final de la tabla y son aplicables a la tabla entera.

4.1.2.2 Encontrar las Provisiones del Código

El término “Provisiones del Código” es usado para referirse a un texto específico en el código. En AWS D1.1, por ejemplo, la subsección 1.1 describe el alcance (aplicación) del código como un todo, y empieza con las palabras, “este código contiene los requerimientos para la fabricación y erección de estructuras soldadas de acero”

En la utilización de un código o especificación, es necesario establecer el requerimiento para una característica de interés. Si una soldadura de ranura está siendo inspeccionada, puede que sea necesario conocer, por ejemplo, la altura del refuerzo de soldadura permitido.

El inspector de soldadura determinará los requerimientos expuestos en el código para esta característica. Para simplificar el uso, la provisión aplicable deberá ser identificada por esta sección, subsección, párrafo o número de subpárrafo. Para los propósitos de este texto, en adelante esto se conocerá como referencia.

Mientras es posible encontrar una provisión particular ojeando a través del código, una aproximación más fiable permitirá dirigirse hacia el problema de una manera más sistemática. El método sugerido para encontrar provisiones particulares en el código está mostrado en la tabla 4.3.

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Definir la 'pregunta' a ser considerada. 2. Analizar la 'pregunta' para identificar las palabras clave o expresiones que se puedan encontrar en el índice o tabla de contenidos. 3. Localizar la o las palabras clave en el índice o tabla de contenidos para obtener una 'referencia' de la provisión requerida. 4. Buscar la provisión en la sección del código aplicable. 5. Verificar que las provisiones encontradas sean aplicables y dirigibles a la pregunta en su totalidad. |
|--|

Tabla 4.3. Encontrar una provisión específica en el código

El método indicado anteriormente en la tabla 4.3 es efectivo en todos los casos. De todas formas, encontrar una provisión se facilita enormemente si el lector tiene afinidad por el código o la especificación en uso. Por el conocimiento del diseño y la estructura de un código, es posible acortar grandemente el tiempo que toma acortar una provisión requerida. Esto se ilustra en los siguientes ejemplos.

Nota: Como publicación original, muchos documentos tienen errores de impresión. Los códigos no es la excepción, siempre chequear las marcas en cualquier cambio que están dadas en todas las hojas de errata aplicables.

4.1.2.3 Ejemplos de Referencias en el Código

4.1.2.3.1. Ejemplo 1

Cuándo la soldadura por arco de metal y gas (GMAW) está siendo usada, es no deseable llevar la soldadura a un lugar externo hacia locaciones ventosas y con corrientes de aire. ¿Cuál es la máxima velocidad del viento permitida donde la soldadura se va a realizar o se la va a llevar?

Palabra(s) Clave(s): soldadura por arco de metal y gas (GMAW) y velocidad del viento.

Chequear Índice: soldadura por arco de metal y gas (GMAW), mirar la página 490, y chequear el subtítulo protección, referencia 5.12.1

Buscar: encontrar referencia 5.12.1, página 183, columna 1, primera entrada.

Provisión: "...la velocidad del viento en los alrededores de una soldadura debe ser máximo de cinco millas por hora (ocho kilómetros por hora)".

Verificar: chequear velocidad del viento (página 498) la referencia previa es de nuevo encontrada, junto a otra referencia inaplicable. Esto sirve para verificar que la referencia 5.12.1 es la correcta.

Una vez que el método general para encontrar referencias del código está entendido, se pueden reducir los pasos en el método, si las circunstancias así lo permiten. Para esta instancia, considere el ejemplo 2

4.1.2.3.2. *Ejemplo 2*

Los electrodos de bajo hidrógeno para la soldadura por arco de metal protegido (SMAW) tienen una exposición a la atmósfera limitada. ¿Cuál es la máxima exposición a la atmósfera de un electrodo E-7018 conforme a la AWS A5.1?

Chuequear Índice: Encontrar electrodos de bajo hidrógeno, exposición atmosférica, página 492; 5.3.2.2

Buscar: Página 180 referencia 5.3.2.2 tabla 51 página 193

Provisión: La exposición máxima para un E-7018 es de 4 horas.

4.1.2.3.3. *Ejemplo 3*

¿Es un Inspector Certificado de Soldadura (CWI) el único inspector reconocido por el código como el que puede inspeccionar fabricaciones bajo AWS D1.1?

En el índice encontrar Inspector (página 491) y calificación, referencia 6.1.4 en la página 199 "los inspectores responsables por la aceptación o rechazo de material y mano de obra deberán ser calificados"

Leyendo más allá, parece ser que la calificación incluye a los Inspectores Certificados de Soldadura (CWI's) y a otras categorías de personas; esto nos lleva hacia la respuesta completa.

4.1.2.3.4. *Ejemplo 4*

En montaje una junta en T para una soldadura de filete, hay una brecha de 1/8 de pulgada entre el patín y el alma. ¿Existe alguna acción correctiva a ser tomada? ¿De ser así, cuál es?

En la página 490 del índice se muestra Soldaduras de filete, ensamblaje tolerancias y referencias 5.22.

En el primer párrafo de la referencia, 5.22.1, en la página 187, la raíz máxima está dada, inclusive con la acción correctiva a ser tomada.

Es prudente chequear el resumen de la subsección 5.22 para asegurarse de que no hay otra provisión que sea aplicable.

Los ejemplos dados ilustran algunos puntos de significancia. Estos están resumidos en la tabla 4.4.

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. El índice del código AWS D1.1 usa términos principales y subordinados; por ejemplo: soldadura por arco de metal y gas (GMAW) y protección. En general la terminología usada por AWS D1.1 está basada en la AWS A3.0 Norma de Términos y Definiciones. 2. El análisis de la pregunta nos guía a las provisiones adecuadas. De todas formas la palabra(s) clave(s) seleccionadas no precisamente pueden ser las utilizadas en el código en el contexto de interés; por ejemplo: componer o ensamblar. Ambos términos están usados en AWS D1.1, pero para ser encontrados en el índice pueden ser inapropiados. Considera la instancia del Ejemplo 4. 3. Obtener el conocimiento de la terminología de código. Por ejemplo: en alguna cuestión que tenga que ver con las dimensiones de soldadura, la mayoría no tendrá el prefijo efectivo. Términos como proceso de soldadura serán acortados a proceso. Ser flexible en la manera como los términos están usados. 4. Conocer los tópicos de las secciones del código e incluso mejor partes del mismo (sección 2 por ejemplo) facilita la localización de las provisiones requeridas en el código. |
|--|

Tabla 4.4. Encontrar las referencias del código

En Encontrar las Provisiones del Código, pueden haber circunstancias donde la tabla de contenidos permite una referencia más rápida que la que el índice permite.

Cuando se usa cualquier código, hay que asegurarse que se tiene acceso a todas las “hojas de errata” que el editor del documento en cuestión puede tener expedidas. Más importante aún asegurarse de que cada errata está corregida en la copia a utilizarse.

4.1.2.4. Contenidos de AWS D1.1

Un prólogo describe la historia de el Código para Soldadura de Acero Estructural AWS D1.1 (en lo sucesivo se referirá y conocerá a este como el código). Desde su inicio en 1928 a través de muchas revisiones hasta la versión del 2004, el formato se mantuvo esencialmente inalterado. El comité AWS responsable del código se comprometió a la tarea de consolidar y arreglar determinadas provisiones en la versión de 1998 con una visión de facilitar su uso en la práctica.

Para los propósitos presentes, las revisiones de versiones previas del código serán reconocidas por el texto subrayado. Cambios mayores han dado lugar a la consolidación de provisiones similares, previamente encontradas en más de una sección del código. Esto tiene como resultado una reducción del número de secciones, permitiendo a las secciones del código ser reorganizadas en orden lógico, basado en la secuencia de eventos en situaciones de producción. El prólogo está seguido de los siguientes títulos listados abajo.

La tabla de contenidos lista las provisiones por subsección, número y título.

A continuación de la lista de títulos de las subsecciones en la tabla de contenidos están aquellas conocidas como Anexos. El cambio en la terminología desde aquella usada en las versiones previas (Apéndices) es por mantener concordancia con las pautas dadas por ANSI. La tabla de contenidos concluye con una lista de subsecciones de Comentarios.

La lista de Tablas, en la cual cada tabla está dada en orden de aparición, cubre las reglas del código, los anexos y los comentarios.

Lista de figuras, titulada como en el texto, está ordenada en orden de aparición en el texto del código.

Reglas del Código, en 8 secciones que están como sigue:

1. Requerimientos generales
2. diseño de conexiones soldadas
3. precalificación de EPS (Especificación del Procedimiento de Soldadura WPS)
4. Calificación
5. Fabricación
6. Inspección
7. Soldadura de espárragos
8. Reforzamiento y reparación de estructuras existentes

Por ende de ediciones previas el código no dispersa más las tablas y figuras sin los requerimientos escritos. En la presente edición cada sección empieza con los requerimientos escritos seguidos por todas las tablas y luego todas las figuras.

Los anexos desde I hasta XII contienen información mandataria para ser usada en conjunción con las provisiones aplicables del código.

Los anexos de la A hasta la O ofrecen información no mandataria como guía e información para ampliar las provisiones específicas del código.

Los comentarios en el Código para Soldadura de Acero Estructural ofrecen un prólogo y comentario para generar un mejor entendimiento de los principios, provisiones y aplicaciones del código.

Las referencias de texto en los comentarios están identificadas por numerales correspondientes con la subsección aplicable del código, con el prefijo "C" para identificación. Un comentario de referencia C3.2.1, por ejemplo, se refiere a la provisión 3.2.1 en las reglas del código como se muestra en la página 57.

Tablas y figura en Comentarios están identificadas con la letra "C" pero están numeradas en orden de serie. La referencia in el código a la cual la tabla o figura se refiere, está mostrada entre paréntesis seguida por el título.

Las figuras 2.2 y 2.3, en las páginas 42 y 43 en el código tienen que ver con la transición de espesores de miembros no tubulares estáticamente cargados como se muestra en la subsección 2.7.1, página 10 del texto del código.

El acercamiento sugerido cuando una cierta provisión del código parece inusual o con variaciones respecto a otras previsiones del código es chuequear en la sección de Cometarios. Esto puede proveer información útil. Recordar que cualquiera sea el comentario contiene reglas o requerimientos no mandatorios.

El Índice es una lista comprensiva de referencias, en orden alfabético, ordenada desde el tópico principal al subordinado. El índice hace referencia a la sección, subsección, párrafo y subpárrafo en general desde 3, 3.5, 3.5.1, 3.5.1.2, etc., así como también a las figuras, tablas y notas al pié de página.

El índice no da números de página como lo hace la tabla de contenidos.

Para encontrar una provisión el índice debe ser la primera fuente consultada. La búsqueda en el índice puede ser algunas veces un poco confusa. Por ejemplo si se busca electrodos de bajo hidrógeno en el índice en la página 492 se encontrarán 11 referencias. Mirar todas esas referencias puede consumir mucho tiempo. Se debería tratar de estrechar la búsqueda. En las instancias donde el índice no provee una referencia satisfactoria a la provisión adecuada, la Tabla de Contenidos es la siguiente fuente de información. Para usar la tabla de contenidos efectivamente un conocimiento de la estructura y organización del código es esencial.

4.2. MÓDULO 1 AWS D1.1, SECCIÓN 1: PROVISIONES GENERALES

AWS D1.1 cubre los requerimientos para la fabricación de estructuras de acero soldadas. No es aplicable a tanques de presión, tubería, etc., excepto con tubería estructural. Otras limitaciones, como las descritas en 1.2 también aplican. AWS D1.1 está hecha para ser usada en conjunción con otros códigos de la ciudad y edificios complementarios. El Ingeniero, como el representante debidamente designado por el dueño tiene el derecho exclusivo de aprobación, excepto en los casos en que recae sobre el Comisionado de Construcción, ver 1.5.

Un resumen de las secciones del código se muestra a continuación:

1. Requerimientos generales. Información básica del alcance y las limitaciones del código.

2. Diseño de conexiones soldadas. Requerimientos para el diseño de conexiones soldadas entre productos tubulares y no tubulares para miembros.
3. Precalificación. Requerimientos para la exención de la Especificación de Procedimiento de Soldadura (WPS) dados por las provisiones del código.
4. Calificación. Requerimientos para la calificación de procedimientos de soldadura y/o personal necesario para realizar trabajos bajo los requerimientos del código.
5. Fabricación. Requerimientos para la preparación, ensamblaje y mano de obra de estructuras de acero soldadas.
6. Inspección. Criterios para la calificación y responsabilidades de inspectores de soldadura, aceptación de soldaduras, procedimientos para inspección visual, ensayos no destructivos (END).
7. Soldadura de espárragos. Requerimientos para la soldadura de espárragos en acero estructural.
8. Reforzamiento y reparación de estructuras exigentes. Provisiones para el diseño y soldadura en modificaciones de estructuras existentes.

4.2.1. Sección 1.1, Provisiones Mandatorias.

Estas afirman que la mayoría de las provisiones del código son mandatorias cuando el uso del código está especificado. Determinadas provisiones son opcionales y aplican solo cuando están especificadas en los documentos contractuales para un proyecto específico.

El Anexo C también debe ser revisado para ejemplos de requerimientos opcionales las típicas maneras para especificarlos.

De conformidad con la subsección 1.3 Definiciones, la terminología usada en AWS D1.1 será interpretada en concordancia la versión actualizada de AWS A3.0 Norma Para Términos y Definiciones de Soldadura y el Anexo B del código.

De igual forma, los símbolos, deberán ser como los mostrados en la edición actualizada de AWS A2.4 Símbolos Para Soldadura, Brazing y Examinación no

Destructiva. Situaciones especiales son completamente explicadas por notas adicionales, dibujos o figuras según corresponda.

Las precauciones de seguridad estarán de conformidad con la última edición de ANSI Z49.1 Seguridad en Soldadura Corte y Procesos Relacionados, publicada por la Sociedad Americana de Soldadura (AWS). El Anexo J provee información adicional.

Lo usuarios son responsables por problemas de seguridad asociados con el uso de cualquier producto o material. Por lo tanto, las Hojas de Datos de Especificación del Material (Material Specification Data Sheets MSDS) deberán ser requeridas por todos los proveedores de equipamiento de soldadura y/o consumibles.

En la edición 2004 del código, las unidades estándar de medida son las medidas oficiales de Estados Unidos. Las unidades del Sistema Métrico SI equivalentes dadas en el código son generalmente aproximadas y deben ser observadas como tales.

4.3. MÓDULO 2 AWS D1.1, SECCIÓN 2: DISEÑO DE CONEXIONES SOLDADAS

Hubo revisiones mayores la Sección 2 de la revisión del código AWS D1.1 versión 2002. En contraste con ediciones previas hay un mucho mayor cuidado específico del diseño, dimensionamiento y cargas permisibles en la soldadura. Mucha de la información contenida en esta sección es para el Ingeniero. Esta más allá de los deberes del inspector. Se debe conocer los requerimientos del diseño y seguir cualquier pregunta que se le pueda hacer al Ingeniero para aclaraciones. En esta guía se solo espera resaltar algunos de los cambios. El lector debe estudiar esta sección cuidadosamente.

4.3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL

La Sección 2 está dividida en cuatro partes. La Parte A tiene que ver con los requerimientos comunes de todos los tipos de juntas. La Parte B y la Parte C aplican a juntas en productos no tubulares, mientras la Parte D está confinad para requerimientos específicos de productos tubulares.

4.3.2. PARTE A REQUERIMIENTOS COMUNES PARA EL DISEÑO DE CONEXIONES SOLDADAS (MIEMBROS TUBULARES Y NO TUBULARES)

La parte A está cubierta desde la página 5 a la 8. La subsección 2.2 especifica que los planes de contrato y las especificaciones, especifiquen la designación del metal base y su localización, el tipo de dimensionamiento y la extensión de todas las soldaduras. Una adición al código del 2002 en la subsección 2.2.1 define los planos como documentos contractuales. El Ingeniero está obligado a especificar las soldaduras de campo.

La subsección 2.2.2 especifica los requerimientos para el ensayo Charpy (Charpy V Notch CVN). Es responsabilidad de de lo Ingenieros el especificar los requerimientos de energía mínima absorbida junto con la prueba de temperatura y junto con los requerimientos para pruebas de soldadura y de zona afectada por el calor.

Las subsección 2.2.3 indica que le Ingeniero o el Contratista especifiquen el orden de ensamblaje, la secuencia de soldadura, la técnica de soldadura y otras precauciones especiales.

Las subsecciones 2.2.5 a 2.2.5.6 cubren los requerimientos de dibujo, soldaduras de ranura en juntas de penetración parcial, juntas para soldas en filete y soldas en T asimétricas, símbolos y detalle de dimensiones precalificadas.

La subsección 2.3 cubre las áreas efectivas para soldadura de ranura y de filete. Las soldaduras de ranura con juntas de penetración completa y parcial están cubiertas en 2.3.1.2 y en 2.3.1.3. Tamaños para soldaduras de ranura en conexiones T, Y y K están mostradas en la tabla 3.6 (página 70) El tamaño máximo de soldadura en juntas a traslape esta está dado en 2.3.2.9 se refiere a la figura 2.1 detalle A (página 41). La subsección 2.3.2.6 cubre el cálculo de la garganta efectiva. Las subsecciones en 2.3.3 cubren las juntas en T asimétricas. Los párrafos 2.3.3.1 a 2.3.3.8 son todos nuevos y cubren el tamaño de soldadura en ángulos agudos y obtusos.

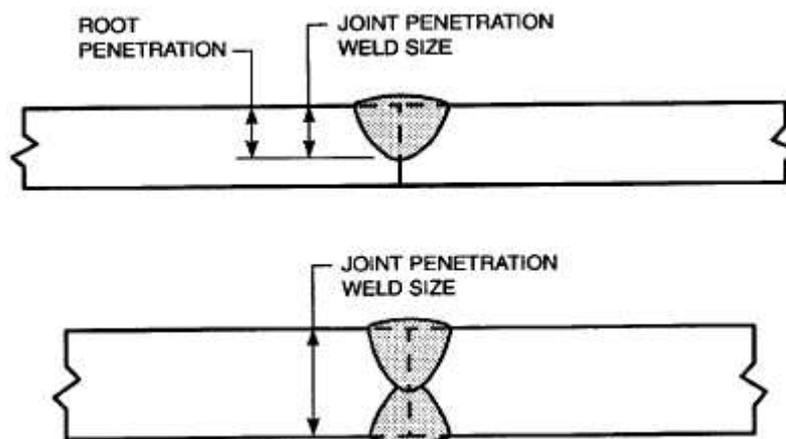


Figura 4.2 Tamaños de soldadura de ranura con juntas de penetración parcial y completa.

Sueldas de filete en hoyos y agujeros están cubiertas en la subsección 2.3.4 Los párrafos 2.3.4.1 a 2.3.5.3 cubren los diámetros de los tapones y los anchos de los agujeros.

4.3.3. PARTE B REQUERIMIENTOS ESPECÍFICOS PARA EL DISEÑO DE ELEMENTOS NO TUBULARES (ESTÁTICA Y CÍCLICAMENTE CARGADOS)

Las subsecciones 2.5.1 a 2.5.5 cubren el esfuerzo permisible. Los esfuerzos calculados y los esfuerzos calculados debidos a excentricidad están cubiertos en 2.5.1 y en 2.5.2. Los esfuerzos permisibles en el metal base y en el metal de aporte están cubiertos en 2.5.3 y 2.5.4. Los esfuerzos en soldaduras de filete y los esfuerzos alternativos permitidos en soldaduras de filete están cubiertos en 2.5.4.1 y 2.5.4.2.

Las subsecciones 2.6.1 a 2.6.7 tratan de las configuraciones de las juntas y detallan los requerimientos para transmitir la fuerza de un miembro a otro. Las secciones advierten al diseñador de proveer juntas las cuales minimicen la intensidad de los esfuerzos en la dirección a través del espesor (2.6.3). El diseñador es quien también especifica que se deben evitar los tamaños de soldadura más grandes que los necesarios para transmitir el esfuerzo calculado (también 2.6.3).

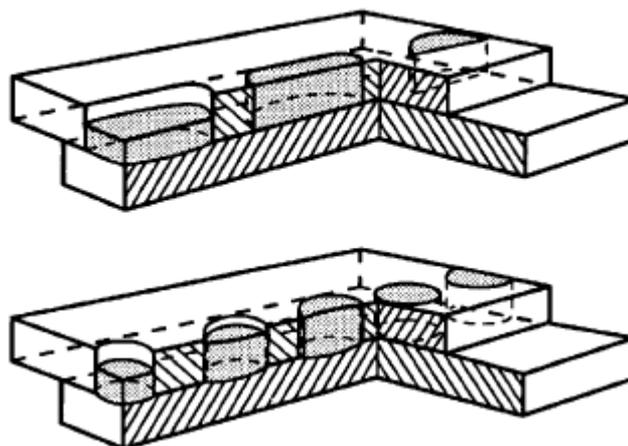


Figura 4.3. Soldaduras de Tapón y de Agujero

4.3.3.1. Subsección 2.7 Configuración y Detalles de las juntas para Soldadura de Ranura.

Estos requerimientos están cubiertos en las subsecciones 2.7.1 a 2.7.4. Transiciones en ancho y espesor están cubiertas en 2.7.1. Las figuras 2.2 (página 42) y 2.3 (página 43) muestran los requerimientos de la transición.

4.3.3.2. Subsección 2.8 Configuración y Detalles de las juntas para Soldadura de Filete.

Los requerimientos para soldadura de filetes están cubiertos en la sección 2.8.1 a 2.8.5. El traslape mínimo está cubierto en 2.8.1.2 y hace referencia a la figura 2.4 (página 43). La figura 2.5 (página 44) muestra la longitud mínima de las soldaduras de filete longitudinales al final de la placa en miembros como barras planas. Juntas a traslape que están sujetas a tensión requieren un espacio de respaldo al final están mostradas en la figura 2.6 (página 44). Terminaciones con retorno son los mostrados en la figura 2.7 (página 45). La sección 2.8.3.5 requiere que las soldaduras de filete en los lados opuestos de una placa común sean interrumpidas en la esquina común a ambas sueldas. Esto está mostrado en la figura 2.8 (página 45).

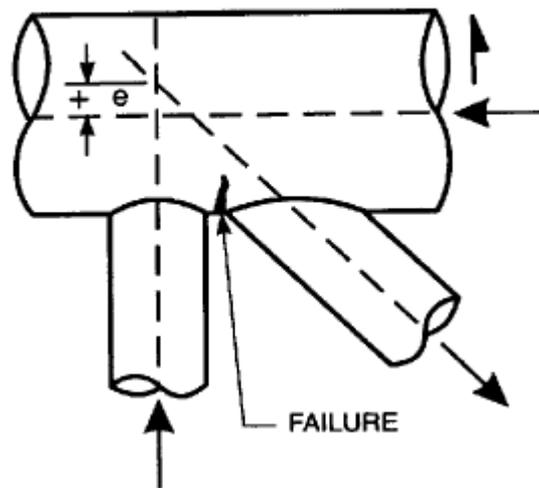


Figura 4.4. Desalineamiento y excentricidad en la línea de centros.

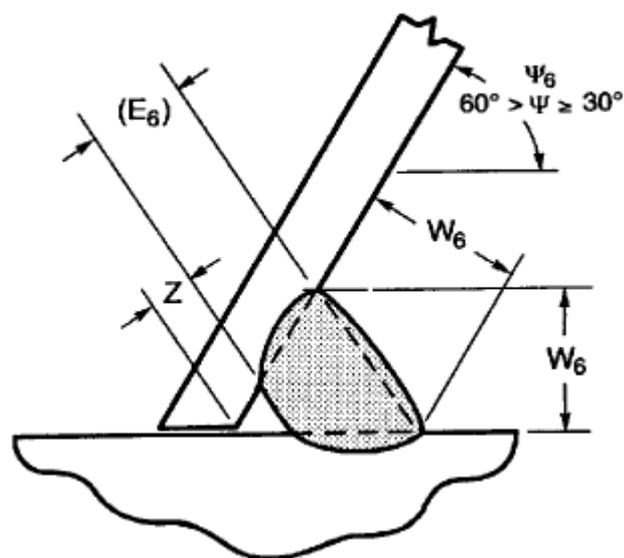


Figura 4.5. Juntas en T sesgadas mostradas con una pérdida Z en la raíz.

4.3.3.3. Subsección 2.9 Configuración y Detalles de las juntas para Soldadura de Tapón y Agujero.

Esta sección define el mínimo espacio entre centro y centro para soldaduras de tapón (2.9.1). El mínimo espacio de centro a centro en las soldaduras de agujero (2.9.2), dimensiones precalificadas (2.9.3), y las soldaduras prohibidas se tapón y agujero en aceros templados y revenido (2.9.4).

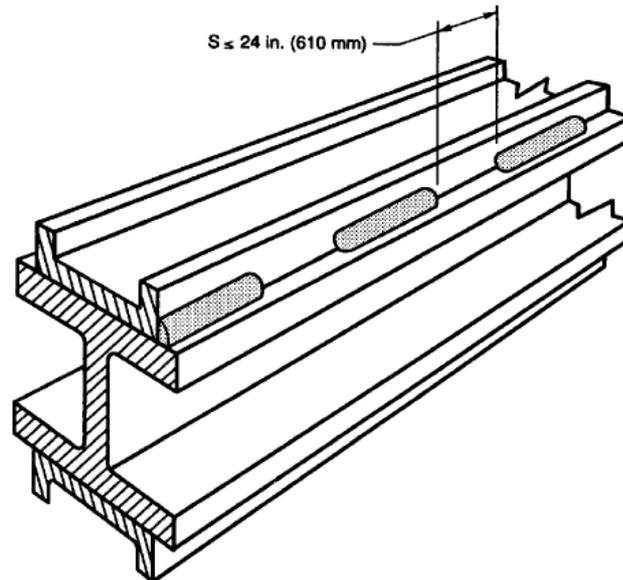


Figura 4.6. Espaciado en soldaduras de filete intermitentes (máximo)

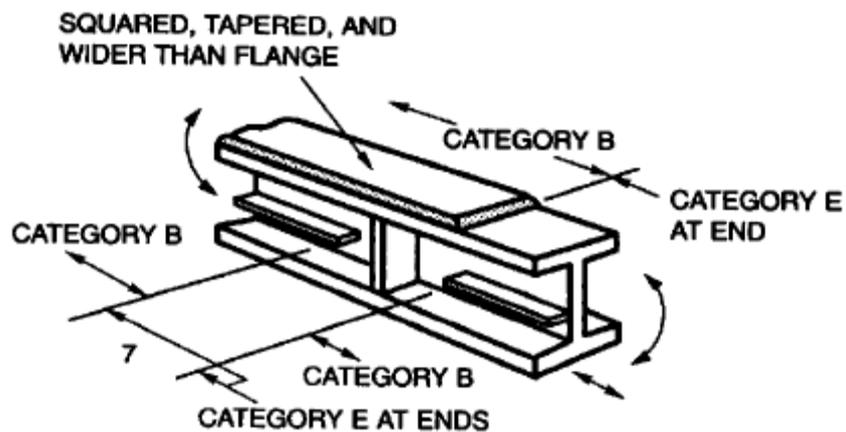


Figura 4.7. Ejemplo de categorías de fatiga mixta (detalle 7 extraído de la figura 2.8)

4.3.3.4. Subsección 2.10 Placas de Relleno.

Esta sección cubre el uso de rellenos usados para transferir la fuerza aplicada. Las figuras 2.9 y 2.10 (página 46) muestran el uso de placas gruesas y delgadas en juntas de empalme.

4.3.3.5. Subsección 2.11 Miembros Armados.

Esta sección cubre el uso de 2 o más palcas o perfiles rolados para construir un miembro. La sección 2.11.2 cubre el máximo espaciamiento en soldas intermitentes.

4.3.4. PARTE C REQUERIMIENTOS ESPECÍFICOS PARA EL DISEÑO DE CONEXIONES NO TUBULARES (CÍCLICAMENTE CARGADAS)

La subsección 2.12 define la aplicabilidad de la parte C.

4.3.4.1. Subsección 2.13 Limitaciones.

Si el rango del esfuerzo de cagas vivas es menor que el rango de esfuerzo umbral, (Tabla 2.4 páginas 25 a 34) ninguna otra evaluación es requerida.

4.3.4.2. Cálculos de Esfuerzo 2.14 y esfuerzos Permisibles en Rangos de Esfuerzo.

Estas subsecciones contienen las reglas para el esfuerzo permisible y las fórmulas para calcular dicho esfuerzo.

4.3.4.3. Subsección 2.16 Detalle, fabricación y Erección

Esa subsección cubre las transiciones de juntas. Las transiciones de juntas a tope delgadas deben estar en concordancia con la figura 2.3 (página 43). Las transiciones de juntas a tope anchas deben estar en concordancia con la figura 2.12 (página 48). Los requerimientos para anexar respaldo y si el respaldo debe ser removido están contenidos en las secciones 2.16.2.1 a 2.16.2.4. Las soldas de contorno son requeridas en juntas de esquinas transversas y juntas en T sujetas a tensión o tensión debido a la flexión (2.16.3). Los requerimientos para cortes de borde con flama, juntas a tope y terminaciones de soldas de filete transversalmente cargadas están cubiertos en 2.16.4 a 2.16.6.

4.3.4.4. Subsección 2.17 Juntas y Soldas Prohibidas.

Es auto explicada.

4.3.4.5. Subsección 2.18

Requiere que las soldaduras de juntas de penetración completa que están sujetas a cargas transversas aplicadas cíclicamente en un rango de tensión debes ser inspeccionadas por Ultrasonido o Radiografía.

4.3.5. PARTE D REQUERIMIENTOS ESPECÍFICOS PARA EL DISEÑO DE CONEXIONES TUBULARES (ESTÁTICA O CÍCLICAMENTE CARGADAS)

4.3.5.1. Subsección 2.19 Generalidades

Esta sección define la aplicabilidad de la parte D. También discute acerca de la excentricidad y hace referencia a la figura 2.14 (H) (página 50) por la ilustración de una conexión excéntrica.

4.3.5.2. Subsección 2.20.

Esta sección define el esfuerzo permisible y la fatiga. La sección 2.20.6 se refiere a la fatiga. Tabla 2.6 (página 37 a 38) define las categorías de esfuerzo. Las limitaciones en la categoría de fatiga en el tamaño o espesor de una soldadura y perfil de la soldadura están listadas en la tabla 2.7 (página 39). La sección 2.20.6.3 se refiere a la figura 2.13 (página 48) para las limitaciones de esfuerzos permisibles.

4.3.5.3. Subsección 2.21 Identificación

Esta sección establece que la identificación debe estar en conformidad con la figura 2.14 (página 49).

4.3.5.4. Subsección 2.22 Símbolos

Requiere que los símbolos usados en la sección 2 sean como los mostrados en el anexo XII (página 309 a 310)

4.3.5.5. Subsección 2.23 Diseño de Soldadura

Esta subsección cubre el diseño de la soldadura. La figura 3.2 (página 72) hace referencia a las conexiones T, Y, K para soldaduras en filete. Las soldaduras en filete con juntas tubulares traslapadas están mostradas en la figura 2.15 (página 52). Las juntas precalificadas de penetración parcial tipo T, Y y K están mostradas en la figura 3.5 (páginas 110 a 112). La figura 3.5 debe ser usada en conjunción con la tabla 2.8 (página 39) para determinar el tamaño mínimo de soldadura. Cuando la mejora de comportamiento en fatiga es requerida los requerimientos del perfil de la tabla 2.7 (página 39) aplican. Las secciones 2.23.3 y 2.23.4, contiene las fórmulas para el cálculo del esfuerzo en

la soldadura. Las longitudes de las conexiones de Cajas están cubiertas en 2.23.5.1 y las conexiones T, Y y X están cubiertas en 2.23.5.2.

4.3.5.6. Subsección 2.24 Limitaciones de Fuerza en las conexiones soldadas.

Esta sección está cubierta al principio de la página 17 y continúa hasta la página 22. Esta contiene información necesaria para ingenieros estructurales. A menos que el Inspector Certificado de Soldadura sea un Ingeniero Estructural está fuera de la esfera de competencia de inspector de soldadura. Se debe revisar la sección ara al menos familiarizarse con el contenido de dicha sección.

4.3.5.7. Subsección 2.25

Las transiciones deben ser realizadas por el chaflanado de la parte más gruesa en conformidad con la figura 2.21 (página 55)

4.3.5.8. Subsección 2.26 limitaciones del material

La sección 2.26.1.1 establece que las conexiones tubulares que no estén destinadas para tubos circulares deben tener una resistencia mínima a la fluencia sobre los 60 kpsi, o para secciones cuadradas mayor a 52 kpsi. La sección 2.26.1.2 reduce la resistencia de fluencia efectiva refiriéndose a la tabla 2.9 (página 40) y a la figura 2.19 (página 54).

4.3.5.9. Sección 2.26.2

Define los requerimientos para la prueba Charpy.

4.4. MODULO 3 AWS D1.1, SECCIÓN 3: PRECALIFICACIÓN DE EPSs

4.4.1. GENERALIDADES

La sección 3 especifica los requerimientos para las Especificaciones de los Procedimientos de Soldadura (EPS) para ser usados en soldadura sin una calificación anterior. El concepto de “precalificación” está basado en una extensiva experiencia industrial y un rendimiento pasado satisfactorio.

Este estatus es solamente conferido a los procedimientos donde las variables son controladas estrictamente y límites claramente definidos. Las provisiones esenciales de los procedimientos de soldadura precalificados están

enumeradas en el Anexo IV tabla IV.1 (página 237). Los procedimientos de soldadura que no cumplan con cada una de las limitaciones serán llamados a ser probados bajo las provisiones de la sección 4 Calificación.

4.4.2.SUBSECCIÓN 3.1 ALCANCE

El alcance establece el compás de la sección 3. Varias provisiones para calificación incluyen que:

- Todos los EPSs precalificados deben ser escritos.
- La conformidad con todas las provisiones de esta sección (3) son requeridas.
- Soldadores, operadores de soldadura y trabajadores de alineamiento para un EPS precalificado deben ser calificados de conformidad con la sección 4, parte C Requerimientos.

4.4.3.SUBSECCIÓN 3.2 PROCESO DE SOLDADURA

Limita los procesos de soldadura para los EPSs precalificados a SMAW (Soldadura por Arco de Metal Protegido), SAW (Soldadura por Arco Sumergido), GMAW (Soldadura por Arco de Metal y Gas) excepto GMAW-S (Soldadura por Arco de Metal y Gas – Cortocircuito) y FCAW (Soldadura por Arco Protegida por Fundente interno). Los procesos ESW (Soldadura por Electro Escoria), EGW (Soldadura por Electro Gas), GMAW-S y GTAW (Soldadura por Arco de Tungsteno y Gas) son aprobados para uso si califican de acuerdo a la sección 4. Otros procesos de soldadura podrán ser usados con la aprobación del Ingeniero de Soldadura y calificados de acuerdo a la sección 4.

4.4.4.SUBSECCIÓN 3 COMBINACIONES DE METAL BASE Y METAL DE APORTE

Para EPSs precalificados se deben usar las combinaciones dadas en la tabla 3.1 (páginas 62 a 65).

En la tabla 3.1, los aceros aprobados para el uso en EPSs están divididos en 4 grupos (Grupos I, II, III y IV). Debe notarse que los aceros de cada grupo tienen relativamente propiedades mecánicas similares. Del mismo modo, la reacción de estos a la soldadura es similar. EPSs calificados por pruebas

usando un acero de un grupo dado están calificados para soldadura de con todos los otros aceros del mismo grupo. En el caso de EPSs precalificados, un cambio de un acero a otro del mismo grupo requiere que un nuevo EPS sea escrito, pero solo para reflejar el cambio del metal base.

Cualquier acero dentro de un grupo puede ser soldado con cualquiera de los metales de aporte listados en la columna de la derecha de la tabla 3.1.

Debe ser observado que los metales de aporte son listados por la especificación a la cual ellos pertenecen, tal como la AWS A5.1. Las clasificaciones identifican los tipos particulares de metales de aporte tales como E70xx o el ER70Sx dónde x se refiere a características específicas.

Los términos Concordante y De Baja Concordancia están amplificados en la tabla 4.5.

| Relación | Metal(es) Base | Relación de fuerza con el Metal de Aporte requerida |
|----------------------|--|---|
| Concordante | Cualquier acero consigo mismo o cualquier acero con otro del mismo grupo | Cualquier metal de aporte listado en el mismo grupo |
| | Cualquier acero en un grupo con cualquiera en otro | Cualquier metal de aporte listado por un grupo con una menor fuerza (Los electrodos SMAW deben ser de la clasificación de bajo hidrógeno) |
| De Baja Concordancia | Cualquier acero en un grupo con cualquiera en otro | Cualquier metal de aporte listado por un grupo con una menor fuerza (Los electrodos SMAW deben ser de la clasificación de bajo hidrógeno) |

Tabla 4.5. Relaciones de fuerza de metal base y metal de aporte.

4.4.5. SUBSECCIÓN 3.4

El Ingeniero se da el derecho de aprobar “materiales no listados” para el uso como accesorios o componentes auxiliares, los cuales entran dentro del rango de composición de la lista de los materiales a ser soldados con un EPS precalificado. Los materiales de aporte y los requisitos de precalentamiento de

la subsección 3.5 están obligados a ser materiales similares en composición y resistencia.

4.4.6. SUBSECCIÓN 3.5 REQUERIMIENTOS DE TEMPERATURA MÍNIMA DE PRECALENTAMIENTO Y ENTRE PASES.

Esta sección especifica que “La temperatura de precalentamiento y entre pases debe ser suficiente para prevenir fisuramiento”. Por tanto especifica que “La tabla 3.2 debe ser usada para determinar la temperatura mínima de precalentamiento y entre pases para los aceros listados en el código”. Nótese la transferencia implícita de autoridad.

La referencia a prevención de fisuramiento significa que, independientemente del mínimo dado en la tabla 3.2 (páginas 66 y 68), si una temperatura mayor es requerida, entonces es responsabilidad del Ingeniero especificarla. De hecho, esto debería aparecer como un cambio en el estatus de cualquier EPS y requiere una calificación.

Como una opción, el método fijado en 3.5.2 puede ser adoptado para determinar la temperatura de precalentamiento y entre pases requerida. El uso de esta opción también establece que para condiciones particulares aplicables en una instancia específica, una menor temperatura de precalentamiento y entre pases puede ser usada.

El término “Dureza Vickers” se refiere al método de ensayo de dureza dónde un indentador en forma de pirámide de diamante de 136° en la punta es usado para probar la dureza en la Zona Afectada por el Calor. El número de dureza Vickers (VPN) es relativamente cercano al número de dureza Brinell (BHN). El último ensayo, sin embargo, usa una bola de acero endurecido y es por consiguiente no conveniente para la examinación en soldadura, dónde la dureza tiene localizaciones muy precisas (tal como en la zona afectada por el calor de la soldadura) requeridas. Los diagramas de los respectivos indentadores e indentaciones de los ensayos están mostrados en la figura 4.8.

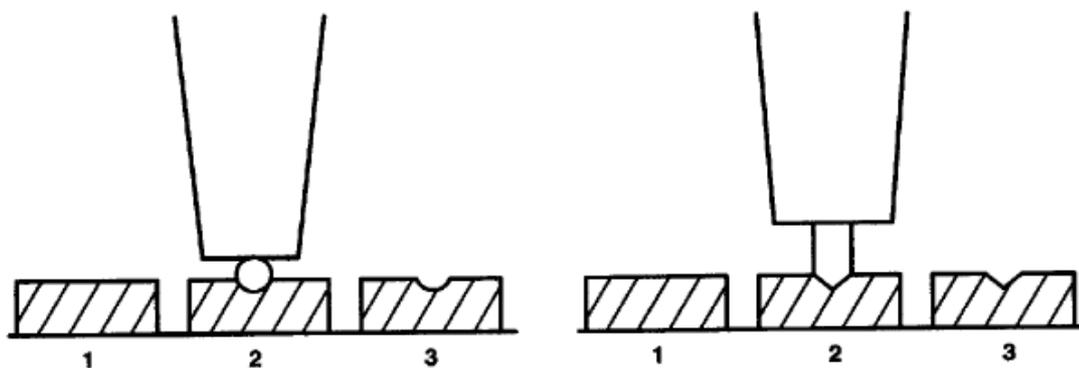


Figura 4.8. Ensayos Brinell y Vickers.

El código permite el uso de otros métodos intercambiables para el ensayo de dureza, como son el Rockwell o el Knoop.

Como principio general, para las juntas entre materiales base (aceros) disímiles, la clasificación de los materiales de aporte concordantes de bajo hidrógeno para una resistencia más baja del material debe ser usada. La temperatura mínima de precalentamiento y entre pases, de todas maneras, está basada en el requerimiento del metal base de mayor resistencia.

Una revisión a la Tabla 3.2 (páginas 66 y 68) muestra tres principales categorías para la especificación del acero, la parte más delgada en un punto de soldadura y la temperatura mínima de precalentamiento y entre pases, respectivamente.

Una revisión a la Tabla 3.2 (páginas 66 y 68) muestra las tres principales categorías para la especificación del acero, la parte más delgada en un punto de soldadura, y la temperatura mínima de precalentamiento y entre pases, respectivamente.

Los aceros se encuentran divididos en las categorías A, B, C y D. La categoría A aplica cuando la soldadura SMAW con otros electrodos que no sean de bajo hidrógeno. La categoría B comprende todos los aceros de la categoría A más otros aceros. Para aceros distintos de los de la categoría A, solo la soldadura SMAW con electrodos de bajo hidrógeno junto con las versiones de bajo hidrógeno de otros procedimientos de soldadura precalificados pueden ser usados.

Las notas al pie 1,2 y 3 de la tabla 3.2 tienen aplicabilidad total, mientras las Notas Generales tienen una aplicación más limitada. La nota al pie número 3 indica la temperatura de precalentamiento y entre pases para aceros de lata resistencia, 5.12.2 y 5.6 deben ser consultados. Se debe observar también el Anexo M (páginas 377 y 378). Como con todas las tablas, las provisiones de las notas generales del Anexo M no deben ser pasadas por alto.

Cuatro rangos de espesor (1/8 pulg. a 3/8 pulg., >3/4 pulg. a 1 ½ pulg., >1 ½ pulg. a 2 ½ pulg. y 2 ½ pulg.) están dadas para cada categoría en ambos, tabla 3.2 y el Anexo M. Nótese también entorno a la provisión que cuando “no es requerida una temperatura de precalentamiento” la temperatura del metal base no debe ser menor a 32° F.

4.4.7.SUBSECCIÓN 3.6 LIMITACIONES EN LAS VARIABLES DEL EPS

Esta subsección requiere que todos los EPSs precalificados estén preparados como un documento escrito por el fabricante, el fabricante o el contratista. Le forma sugerida se encuentra mostrada en Forma E1 en el Anexo E (páginas 333 a 341).

Los EPSs están hechos para estar disponibles a la revisión de todos aquellos que estén autorizados. Corriente, voltaje, velocidad de alimentación de alambre y tasa de flujo del gas protector están también requeridos a ser especificados. Donde cambios más allá del rango permitido son requeridos, el EPS debe ser re escrito o revisado.

4.4.8.SUBSECCIÓN 3.7 EPS REQUERIMIENTOS GENERALES

Esta sección da el diámetro del electrodo máximo por posición, corriente, ancho del pase de raíz, ancho de ases de relleno, tamaño de soldadura de filete y anchos de una capa de soldadura de un solo pase que no deben ser excedidos para que un procedimiento de soldadura sea precalificado. Adicionalmente, la soldadura vertical ascendente es la progresión normal, con vertical descendente los casos se limitan a unos pocos. Ver también Tabla 3.7 (página 71).

Una provisión significativa es aquella que dice que ni la profundidad ni el ancho máximo de la soldadura depositada en cada pase debe exceder el ancho de la superficie del pase de soldadura. Ver figura 3.7 (página 72).

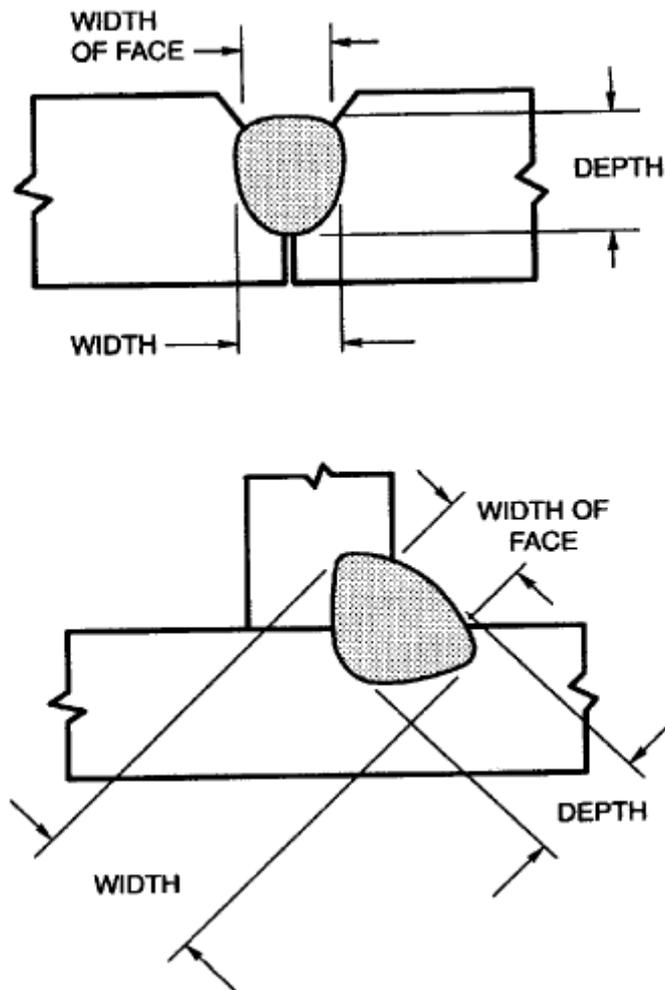


Figura 4.9. Ancho y profundidad de gota soldada que excede la cara de soldadura.

La tabla 3.3 (página 69) da los metales de aporte para ser usados para soldadura de aceros ambientales como el ASTM A588 y el A709 Gr50 donde las propiedades ambientales de los aceros son duplicadas en el metal de soldadura. Haciendo referencia a la tabla 3.1 (páginas 62 a 65) esta muestra este acero dentro del Grupo II. De todas maneras, la nota al pie 2 aplica, esta invoca ciertas alternativas, dependiendo del propósito del acero. Debe ser notado también que aplican excepciones en el caso de ciertas soldaduras de ranura con simple pase y soldaduras de filete con simple pase.

4.4.9. SUBSECCIÓN 3.8.

Provee información para el uso de “respaldo” en GMAW cuando el proceso de soldadura básico es paralelo o múltiple electrodo en SAW. En una

operación de soldadura simultánea, la separación entre los arcos de GMAW y SAW no debe exceder las 15 pulgadas.

4.4.10. SUBSECCIÓN 3.9 REQUERIMIENTOS PARA SOLDADURA DE FILETE

Hace referencia a la tabla 5.8 (página 194) para tamaños mínimos de soldadura y la figura 2.1 (página 41) y tabla 2.5 (página 35) para las limitaciones de soldaduras de acople de miembros no tubulares. Juntas de soldaduras de filete entre miembros tubulares, como las mostradas en la figura 3.2 (página 72), hechas usando SAMW, FCAW o GMAW están precalificadas. Estos detalles también pueden ser usados para GMAW-S, si se califican según 4.12.4.3.

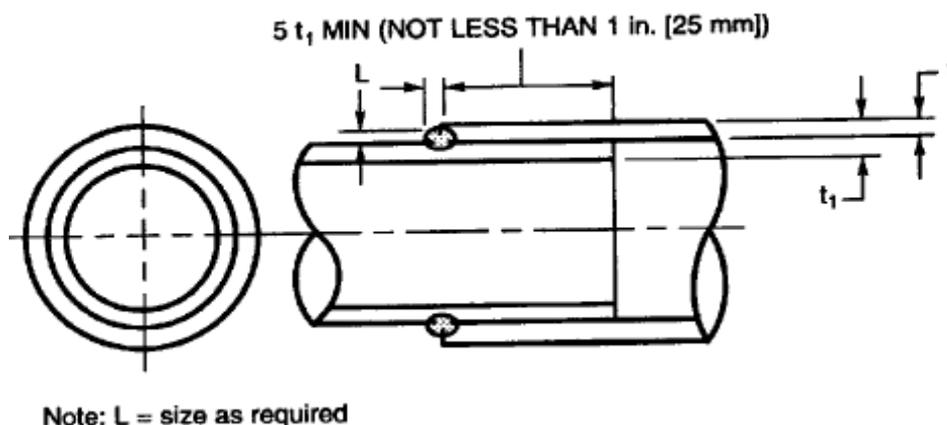


Figura 4.10. Juntas soldadas a traslape en filete tubulares.

Las juntas precalificadas a traslape en filetes están mostradas en la figura 2.4 (página 43). Las juntas precalificadas inclinadas en T están limitadas a aquellas mostradas en la figura 3.11 (página 118). El detalle C muestra la manera en la cual el tamaño de soldadura requerido debes ser logrado cuando el ángulo diedro es mayor a 100° .

4.4.11. SUBSECCIÓN 3.10 REQUERIMIENTOS PARA SOLDADURA DE TAPÓN Y RANURA.

Esta subsección se limita a los proceso de soldadura SAMW, FCAW y GMAW (excepto GMAW-S). Otras soldaduras aplican al diámetro de tapón, longitud de ranura y profundidad de llenado.

4.4.12. SUBSECCIÓN 3.11 REQUERIMIENTOS COMUNES PARA SOLDADURAS DE JUNTAS DE PENETRACIÓN PARCIAL Y COMPLETA (PJP Y CJP).

Esta sección permite el uso de preparación de ranuras SMAW para GMAW y FCAW. Juntas de esquina deben ser hechas por la preparación de cualquiera o ambas juntas de los miembros con tal de que una fundición excesiva no tome lugar. Para soldadura automática usando SWA, GMAW o FCAW, la variación en la apertura máxima de raíz, en montaje, no debe exceder 1/8 de pulgada.

4.4.13. SUBSECCIÓN 3.12 REQUERIMIENTOS PARA JUNTAS DE PENETRACIÓN PARCIAL

Esta sección otorga el estatus de precalificado a aquellas juntas hechas dentro de las limitaciones descritas en la figura 3.3 (páginas 74 a 87). Una soldadura de ranura con junta de penetración parcial está definida como una junta de ranura soldada sin acero de respaldo o soldada por ambos lados sin un maquinado en la parte trasera. Ciertas excepciones están hecha para juntas tubulares y como las proporcionadas en la designación de juntas B-L1_s de la figura 3.4 (página 88).

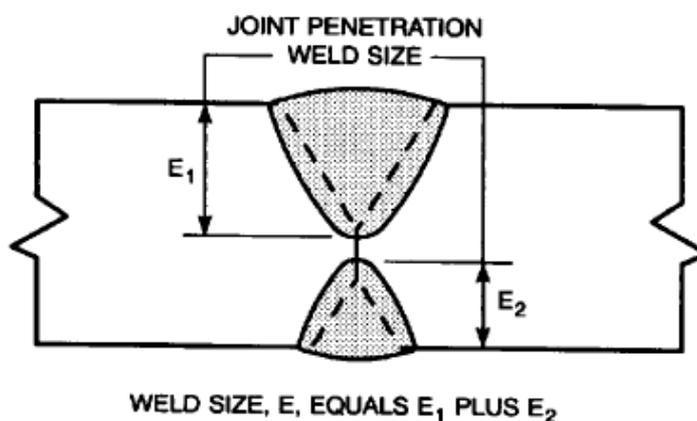


Figura 4.11. Soldadura de ranura con junta de penetración parcial.

El tamaño de soldadura (E) mostrado en la figura 3.3 es usualmente la profundidad total de preparación (S) para el proceso, ángulo de ranura y posición de soldadura a ser usada en producción. Los tamaños mínimos para soldaduras con juntas de penetración parcial están especificados en la tabla 3.4 (página 69).

El diseño de la profundidad de la ranura (S) tiene que ser mostrado en los planos de trabajo o taller. Las dimensiones de la junta mostradas en las figuras 3.3 y 3.4 pueden variar dentro de los límites mostrados en “Como detallado” o “Como montado”. En la práctica, lo último es aplicado a las dimensiones mostradas en los planos de trabajo o de taller.

Juntas tubulares están precalificadas si todas las provisiones de la figura 3.3 son satisfechas. De la misma manera para Juntas de Penetración Parcial, conexiones T, Y y K, soldadas con SMAW, GMAW o FCAW dentro de los límites mostrados en la figura 3.5 (página 110).

La leyenda de las figuras 3.3 y 3.4 (página 73) muestra los símbolos y abreviaciones usados en definir los varios aspectos de las respectivas juntas. Colectivamente, estos símbolos están usados como una única “designación de junta” que identifica las juntas involucradas. Donde dos o más juntas podrían tener la misma designación letras minúsculas son usadas para diferenciación.

Al revisar las figuras 3.3 y 3.4, se ve que cada designación de junta tiene una caja dentro de la cual un dibujo de la junta aplicable es mostrado junto con el símbolo de soldadura. En la esquina superior izquierda, los símbolos de designación de junta y su significado están dados. Debajo del dibujo está una tabla mostrando las restricciones aplicables. Las notas de la última columna en la derecha están dadas en la página 73.

4.4.14. SUBSECCIÓN 3.13. REQUERIMIENTOS PARA JUNTAS DE PENETRACIÓN COMPLETA.

Esta subsección sigue las mismas reglas generales como las dadas en la subsección 3.12. Detalles de juntas está mostrados en la figura 3.4 (páginas 88 a 109). Juntas de ranura tipo U y J pueden ser soldadas parcialmente de un lado y la preparación de la junta completada y soldada del segundo lado. Para juntas tubulares, el estatus de precalificado requiere la observancia del mismo criterio como para las juntas no tubulares. En caso de el uso de SAW, un mínimo diámetro de 24 pulgadas es requerido.

Finalmente, los detalles de las juntas con conexiones T, Y y K descritos en el párrafo 3.13.4 están precalificados para SMAW y FCAW. Los detalles de las

juntas deben ser usados para GMAW-S, cuando sean calificados en concordancia con el subpárrafo 4.12.4.3.

4.4.15. SUBSECCIÓN 3.14. TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA (POST WELD HEAT TREATMENT PWHT)

Este debe ser precalificado, provisto que este debe ser aprobado por el Ingeniero, y adherirse a las notas especificadas de la 1 a la 5.

4.5. MÓDULO 4, AWS D1.1, SECCIÓN 4, CALIFICACIÓN

4.5.1. VISTA GENERAL

La sección 4 determina los requerimientos para ensayar la calificación de las especificaciones del procedimiento de soldadura y del personal de soldadura. Esta consta de tres partes:

- Parte A, cubre los requerimientos generales aplicables.
- Parte B, trata con la calificación de EPSs.
- Parte C, cubre los ensayos del personal de soldadura.

4.5.2. PARTE A REQUERIMIENTOS GENERALES

4.5.3. SUBSECCIÓN 4.1 GENERALIDADES

Esta empieza por una reiteración de los propósitos generales de la sección 4. Sigue entonces para declarar que a menos que esté exento como lo provee la sección 3 “un EPS para el uso de soldadura en producción debes ser calificado de conformidad con la Sección 4, Parte B”. De todas maneras, evidencia apropiadamente documentada de calificaciones previas puede ser aceptada, como una opción de los Ingenieros. Una variación de esta provisión está dada en el subpárrafo de la sección 4.1.1.1 Calificación de EPS en otra norma establece que la calificación hecha en otra norma puede ser aceptada.

La calificación del EPS es responsabilidad del manufacturero o contratista. En el caso de que el contrato llame a un ensayo de impacto, el procedimiento a ser usado para tal ensayo debe ser como el establecido en el Anexo III (páginas 269 a 272) o como se especifique en los documentos contractuales.

4.5.4.SUBSECCIÓN 4.1.2. CALIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL PERSONAL DE SOLDADURA.

Esta parte requiere que los soldadores, operadores de soldadura y los soldadores de espárragos, trabajando bajo este código y usando SMAW, SAW, GMAW, GTAW, FCAW, ESW o EGW sean calificados por la parte C. Los Comentarios denotan que estos ensayos prueban la habilidad. Dar crédito por calificaciones previamente documentada es una opción de los Ingenieros.

Como en los párrafos previos, 4.1.2.2 define la responsabilidad de la calificación es de manufacturero o del contratista pero también adjunta una nota “la calificación es conducida por el manufacturero, el contratista o una agencia de ensayos independiente”. A pesar de que no está específicamente indicado en el párrafo 4.1.1, el uso de de una agencia de ensayos independiente para la realización de los ensayos de calificación del procedimiento es una práctica aceptada.

Las calificaciones del soldador y el operador de soldadura permanecen efectivas indefinidamente a menos que estos no suelden con el proceso para el cual están calificados por más de 6 meses. Para los anteriores y para los soldadores de espárragos, la calificación puede también caducar si hay o hubieren razones específicas que cuestionen su habilidad.

4.5.5.SUBSECCIÓN 4.2.

Tiene que ver con los requerimientos comunes para el procedimiento o ejecución de los ensayos. Debe notarse que las calificaciones en ediciones actuales del código en el tiempo de la prueba permanecen válidas.

De todas maneras no es válido usar una edición previa del código en lugar de la edición actual, excepto si esto es una parte de los requerimientos contractuales. El envejecimiento de las sueldas es permitido si se permite en las especificaciones del metal base. Registros de las pruebas deben ser retenidos por el contratista o manufacturero pero el acceso debe estar disponible para las partes autorizadas. Finalmente. Las pruebas de ensamblaje de posiciones de soldadura deben ser en una o más de las posiciones básicas de soldadura: plana, horizontal, vertical o sobre cabeza.

4.5.6. PARTE B ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA.

Las posiciones de soldadura están mostradas en el código en la figura 4.1 (soldaduras de ranura, página 146) y en la figura 4.2 (soldaduras de filete, página 147). Estas acompañadas de las tablas permiten determinar cualquier posición de soldadura (ver tabla 4.6 abajo). El rango de posiciones cubiertas por las probetas soldadas en posiciones específicas están mostradas en la tabla 4.1 (página 130). Será observado que mientras la mayoría de posiciones de prueba califican para más de una posición en producción, como es en el caso de la soldadura de tapón y ranura, la calificación es solamente para la posición de prueba.

| Tabulación de las posiciones de soldadura de ranura | | | |
|---|------------------------|---------------------|---------------------------|
| Posición | Diagrama de referencia | Inclinación del eje | Rotación de la cara |
| Plana | A | 0° a 15° | 150° a 210° |
| Horizontal | B | 0° a 15° | 80° a 150° 210° a 360° |
| Sobre cabeza | C | 0° a 80° | 0° a 80° 280° a 360° |
| Vertical | D | 15° a 80° | 80° a 280° |
| | E | 80° a 90° | 0° a 360° |

Tabla 4.6. Extracto de la figura 4.1 en el texto del código.

Las posiciones de prueba para los tipos principales de junta están mostradas en las figuras 4.3 a 4.6 (páginas 148 a 151). Ver la sección 4.2.4 en el código. Por ejemplo la posición 2F (horizontal) está mostrada en la figura 4.12 abajo.

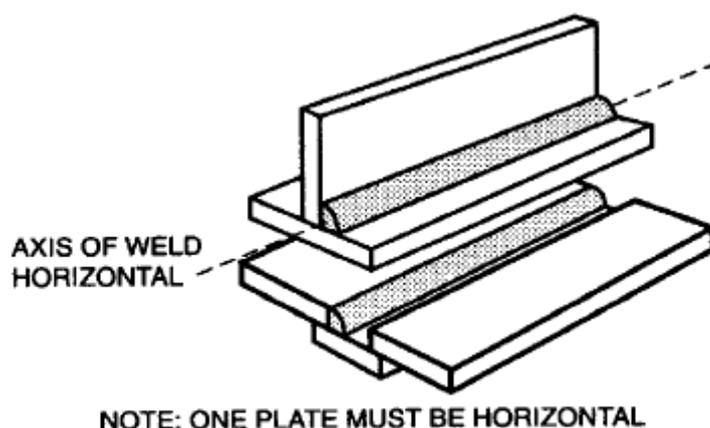


Figura 4.12. Posición horizontal (2F) para soldaduras de filete.

4.5.7.SUBSECCIÓN 4.4 TIPOS DE PRUEBAS DE CALIFICACIÓN

Determina los tipos de pruebas requeridas. El número de pruebas y probetas requeridas estas dadas en la tabla 4.2 (juntas de penetración completa de ranura, página 131 y 132), en la tabla 4.3 (juntas de penetración parcial de ranura, página 133) y tabla 4.4 (juntas de filete, página 133). Los ensayos de END y las pruebas mecánicas requeridas están dados en la subsección 4.8, la cual puede ser encontrada en las páginas 121 y 122. Una revisión de las notas de pie es sugerida cada vez que la tabla sea revisada. En la tabla 4.2, la nota de pie 1 aplica a todas las pruebas.

Otras notas de pie aplican en instancias específicas. Debe también ser notado que la tabla 4.2 está duplicada con las dimensiones en pulgada y milímetros, en las respectivas versiones.

Un factor adicional que se debe tener en mente es que los títulos de las tablas y figuras terminan con una referencia a las provisiones aplicables en el texto del código. Por ejemplo, la tabla 4.3 hacer referencia a la subsección 4.10. Es importante que estas referencias sean usadas en conjunción con la tabla o figura aplicable. En el caso de la figura 4.2, la referencia dada en la sección 4.4. Como se consideró anteriormente, 4.4 tiene que ver con los tipos de pruebas requeridas.

Nótese también que mientras ciertos códigos permitan la calificación de procedimientos en cualquier posición para calificar a todas las posiciones en producción, tal como ASME sección IX, en el caso de AWS D1.1, solamente ciertos tipos de pruebas dan otra que no sea la calificación limitada a la posición.

La tablas 4.2 y 4.3 así como definen las probetas para prueba requeridas, y las figuras 4.7 a 4.11 (páginas 152 a 156), los lugares de los cuales lo varios tipos de probetas para pruebas deben ser extraídas, también dan el rango de espesor calificado. Nótese que en ciertas instancias, el límite inferior no es 1/8 de pulgada, el cual es el límite inferior del alcance del código D1.1. Esto se ve en el caso del tamaño de tuberías de trabajo y ESW y EGW. Nótese también, en última instancia, que el límite superior de espesor calificado es solamente 1.1 veces el espesor de la placa de prueba.

4.5.8.SUBSECCIÓN 4.5

Esta clasifica en 6 tipos de soldaduras para los propósitos de calificación de EPSs:

- Soldadura de juntas de penetración completa de ranura, no tubulares (ver 4.9)
- Soldadura de juntas de penetración parcial de ranura, no tubulares (ver 4.10)
- Soldadura de filete, tubular y no tubular (ver 4.11)
- Soldadura de juntas de penetración completa de ranura, tubulares (ver 4.12)
- Soldadura de juntas de penetración parcial de ranura, tubulares (ver 4.13)
- Soldadura de tapón y ranura para conexiones tubulares y no tubulares (ver 4.14)

4.5.9.SUBSECCIÓN 4.6 PREPARACIÓN DE EPSs

Según las provisiones de esta sección, el EPS debe ser preparado como un documento escrito de cada una de las variables esenciales aplicables, como se enumeran en la sección 4.7 “los valores específicos para estas variables del EPS deben ser obtenidas del Registro de Calificación del Procedimiento RCP (Procedure Qualification Record PQR), el cual sirve como confirmación escrita de una calificación exitosa de un EPS”. Lo que no está especificado en el texto del código es que es que el Anexo E (páginas 333 a 341) provee formatos de ejemplo. El formato E1 puede ser usado tanto como EPS (solo el frente) o como RCP (el frente y la parte trasera).

4.5.10. SUBSECCIÓN 4.7 VARIABLES ESENCIALES

Inicialmente cubre los “procesos precalificados”. Excepto para ESW y EGW, las variables esenciales están dadas en la tabla 4.5 (páginas 134 a 136). Cambios más allá de los límites del RCP para estas variables necesitan recalificación. Cambios en el RPC de las aplicaciones de la prueba Charpy en las variables suplementariamente esenciales están mostrados en la tabla 4.6 en la página 137.

4.5.10.1. Párrafo 4.7.3 Calificación Del Material Base

Este define los requerimientos para la calificación del material base. Los metales base de la tabla 3.1 (páginas 62 a 65), sujetos a calificación, califican otros grupos de metales base según la tabla 4.8 (página 139).

Los metales base no listados en la tabla 3.1 o el Anexo M, requieren calificación según las provisiones de la sección 4 y la aprobación del Ingeniero para su uso. Nótese también que los aceros en el Anexo M califican otros aceros. También para los aceros del Anexo M, hay recomendaciones para considerar la compatibilidad con los metales de aporte y las temperaturas de precalentamiento y entre pases. Las temperaturas de precalentamiento y entre pases menores que las de la tabla 3.2 (páginas 66 y 68) o como las calculadas en el Anexo XI (página 299) son requeridas para ser calificadas por pruebas aprobadas por el Ingeniero. Nótese el rol expandido del Ingeniero en esta instancia.

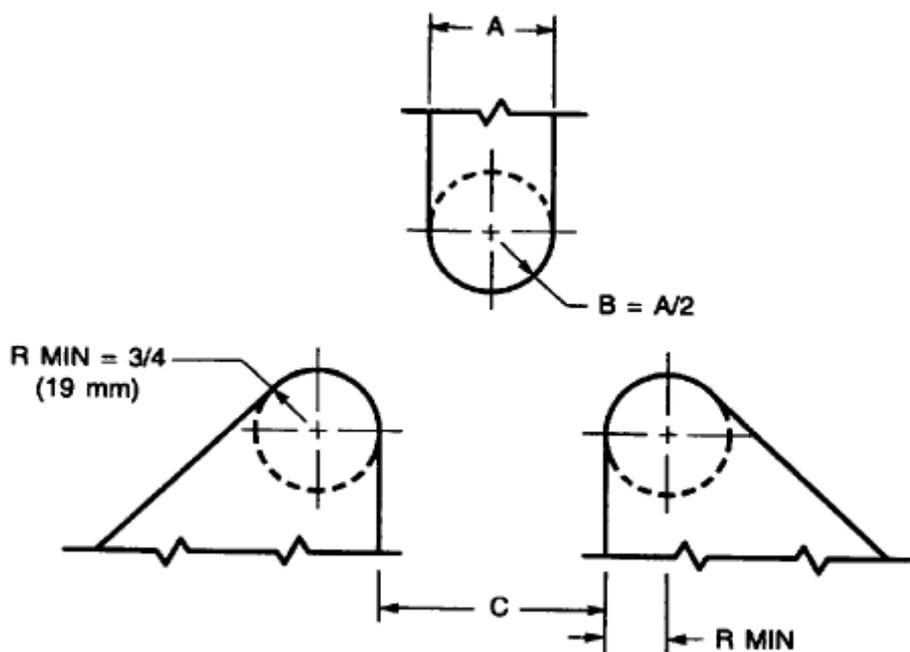


Figura 4.13. Equipamiento de doblado guiado. Radio de doblado B según la tabla bajo la Figura 4.16 o la Figura 4.17.

4.5.11. SUBSECCIÓN 4.8.

En esta las figuras 4.7 a la 4.11 (páginas 152 a 156) muestran la ubicación de varias probetas que deben ser removidas de la soldadura. Las probetas de

prueba deben ser preparadas de acuerdo con las figuras 4.12 a 4.14 (páginas 157 a 159) y 4.18 (página 162) como sea aplicable.

Los criterios de aceptación para las pruebas mecánicas están especificados en 4.8.1. La sección 4.8.2 dice que para cupones de prueba a ser examinados no destructivamente por Radiografía o Ultrasonido sean realizados antes de preparar las pruebas mecánicas. El criterio de aceptación está de acuerdo con la Sección 6 Parte C.

Las pruebas de doblado son realizadas en un jig que cumple con los requerimientos de las figuras 4.15 hasta la 4.17 (páginas 160 y 161). El criterio de aceptación está especificado en 4.8.3.3. Las probetas de tensión están cubiertas desde 4.8.3.4 a 4.8.3.6. Las pruebas de macrografía y el criterio de aceptación están dados en 4.8.4.

Las soldaduras de filete, no cubiertas por las provisiones de 3.9, deben ser robadas a través de hacer cupones de prueba con una o más soldaduras, generalmente en la manera mostrada en la figura 4.19 en el código (página 163). La calificación de probetas por examinación visual conjunción con la prueba de macrografía, deben ser según 4.8.4.1 2 y 3.

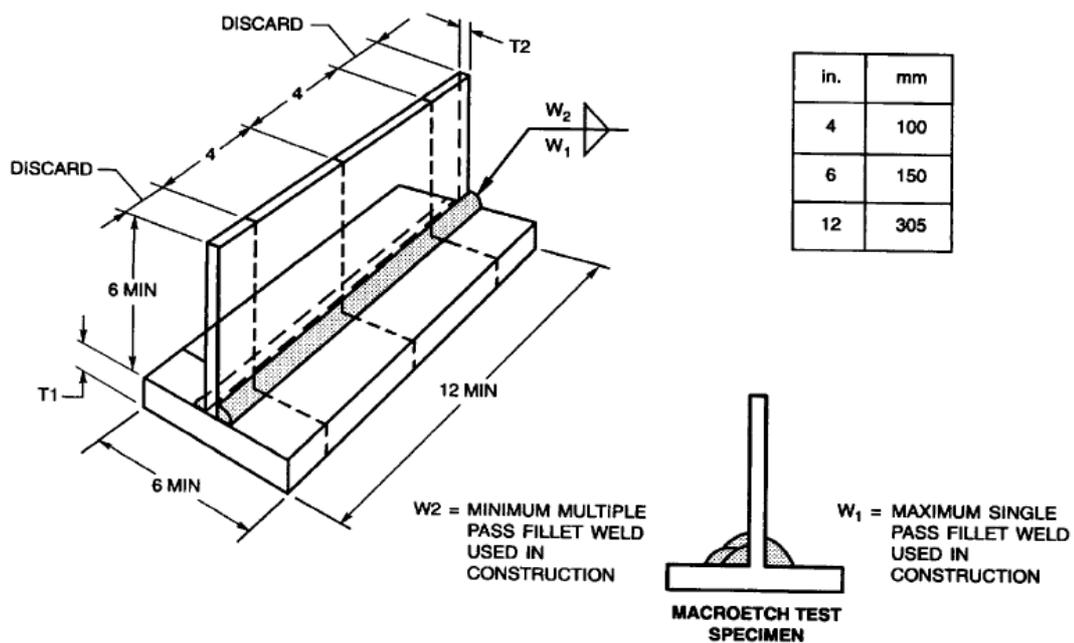


Figura 4.14. Calificación de probeta de prueba de soldadura de filete.

La sección 4.8.5 establece que en el caso de que una probeta del conjunto falle, 2 probetas más pueden ser tomadas del mismo cupón, si están disponibles. Ambas probetas nuevas deben satisfacer el criterio de aceptación. En el caso del material menor a 1 y ½ pulg. de espesor, "...la falla de una probeta debe requerir la prueba de todas las probetas del mismo tipo provenientes de 2 ubicaciones adicionales en el material de prueba."

4.5.12. SUBSECCIONES 4.9 4.10.

Estas cubren la calificación de EPSs de soldaduras de ranura con juntas de penetración completa y parcial para conexiones no tubulares, respectivamente. Para juntas de penetración completa, refiérase a la tabla 4.2 (página 131 y 132). La sección 1 de la tabla y las figuras 4.9 a 4.11 (páginas 154 a 156) especifican la placa apropiada de prueba. Las juntas en esquina y tipo T deben ser juntas a tope de la misma configuración tal como si fueran a ser usadas en producción, pero la profundidad de la ranura no debe exceder una pulgada.

Para juntas de penetración parcial, las pruebas requeridas están mostradas en la tabla 4.3 (página 133) con los cupones de prueba correspondientes a las juntas de producción. Las pruebas de macrografía deben ser usadas para verificar el tamaño de la soldadura y la calidad y conformidad de los requerimientos de forma y penetración. Para los tamaños de las soldaduras de ranura acampanadas ver 4.10.5.

En adición a la calificación del metal base y/o EPS, cuando un material de aporte no es calificado para ser usado para soldaduras de filete en producción, el párrafo 4.11.3 describe el procedimiento de prueba requerido. En una junta de penetración completa de ranura de una pulgada de espesor un respaldo con acero debe hacerse. Se extraen 2 probetas de doblado de lado y una completa de material de aporte, según la figura 4.23 (página 166). Después de ser maquinados hasta coincidir con el tamaño según las figuras 4.13 (página 158) y 4.18 (página 162), las probetas son probadas.

Para los doblados de lado, las pruebas deben ser llevadas a cabo de acuerdo a 4.8.3.1 y evaluadas como se especifica en 4.8.3.3. Para la probeta de metal de aporte, el procedimiento de prueba está descrito en 4.8.3.6. La

evaluación está basada en el cumplimiento de las propiedades mecánicas iguales o mejores que aquellas correspondientes al metal de aporte mostradas en la tabla 3.1 (páginas 62 a 65) o el Anexo M.

Las juntas de la subsección 4.11 (conexiones de soldadura de filete tubulares y no tubulares) también son probadas y evaluadas de manera análoga a las provisiones anteriores, como las mostradas en la tabla 4.4 (página 133).

4.5.13. SUBSECCIONES 4.12 Y 4.13

Estas tratan respectivamente con la calificación de soldadura de juntas de ranura con penetración completa y parcial de conexiones tubulares. Los miembros tubulares pueden ser los tradicionales tubos de sección redonda o los tubos de caja de sección cuadrada o rectangular. Estos últimos perfiles requieren un manejo de una manera diferente en el trabajo que las placas o los miembros tubulares redondos. La mayoría de las provisiones descritas en 4.12 y las figuras 4.24 y 4.25 (página 167) muestran los requerimientos para juntas con respaldo y sin respaldo.

El párrafo 4.12.4 trata con las juntas soldadas de un solo lado. Esto será recuperado para las juntas precalificadas, soldaduras de ranura con juntas de penetración completa deben ser respaldadas o soldadas por ambos lados. En la ausencia de otras provisiones a lo contrario, esto significa que todos los diámetros pequeños de tubería y juntas tubulares (esto es, que no tienen acceso para la soldadura de respaldo o barras de respaldo) deben ser calificadas por las pruebas dadas en esta sección del código.

4.5.14. PARTE C CALIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO.

4.5.15. SECCIÓN 4.18

El preámbulo de esta sección reza como sigue: “Las pruebas requeridas para la calificación del desempeño por este código son pruebas específicamente ideadas para determinar la habilidad del soldador, operador de soldadura o soldador de puntos para producir soldaduras sólidas”. Entonces esto sigue en la condición de que las pruebas de calificación no están pensadas como una guía en la construcción actual.

Para los soldadores, la calificación por posiciones está fijada en la tabla 4.9 (página 140). Los operadores de soldadura son generalmente probados en la posición 1G, la cual califica para placa y tubería de un diámetro mayor a 24 pulgadas en las posiciones 1G, 1F y 2G. Los soldadores de puntos son llamados a ser calificados en cada posición en la cual el soldador de puntos es requerido en producción.

4.5.16. SUBSECCIÓN 4.18.2 PRODUCCIÓN CALIFICADA EN ESPESORES Y DIÁMETROS

Esta hace referencia a la tabal 4.10 (página 141) para la calificación de soldadores y operadores de soldadura para ambos, espesor y diámetro. Para soldadores de puntos, las pruebas exitosas califican para todos los espesores mayores a 1/8 de pulgada y todos los diámetros. Soldadores y operadores de soldadura quienes sueldan una prueba para calificación de EPS exitosa están por consecuencia calificados en conformidad con las anteriores provisiones (4.18.1 y 4.18.2). La figura 4.15 abajo muestra del cupón de prueba estándar, en este caso, para un espesor limitado a 3/4 de pulgada.

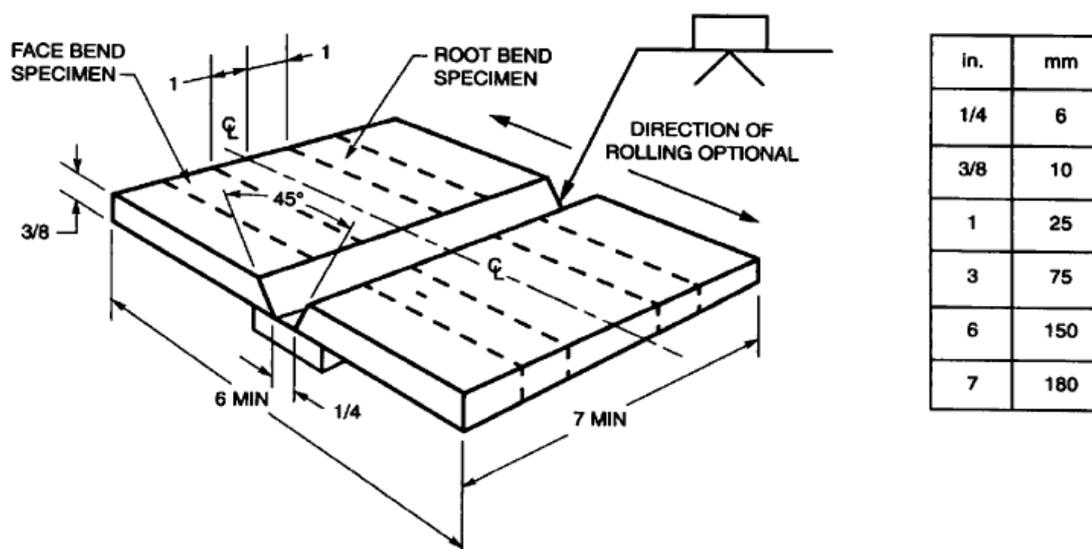


Figura 4.15. Placa de prueba para calificación de soldador.

Para la calificación de espesor ilimitado, el formato del cupón de prueba permanece igual, pero es de una pulgada de ancho y requiere doblados de lado. Para los varios tipos de pruebas requeridas, el método de prueba y los criterios de conformidad son los mismos que para la calificación de EPSs.

Alternativamente, radiografía puede reemplazar las pruebas de doblado, excepto cuando la soldadura es por GMAW-S.

4.5.16.1. Párrafo 4.19.2. Soldadores de puntos.

Este especifica los requerimientos para las pruebas de soldadores de puntos. Una junta T debe ser soldada con un filete no mayor a $\frac{1}{4}$ de pulgada por una longitud de 2 pulgadas, como se muestra en la figura 4.38 (página 178). Este es luego roto en la manera mostrada en la figura 4.34 mostrada abajo y evaluada en conformidad con el párrafo 4.31.

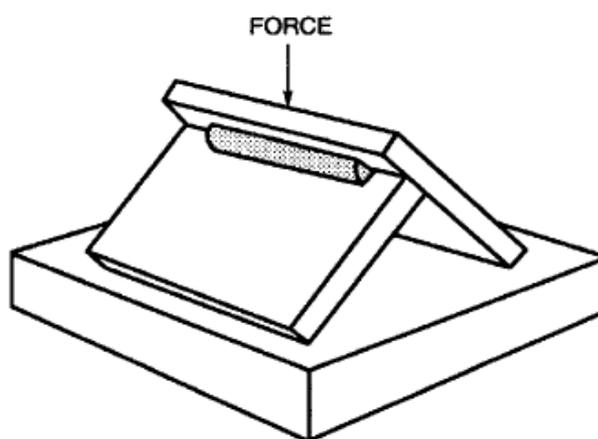


Figura 4.16. Cupón de prueba de ruptura para soldador de puntos.

Los soldadores de puntos que pasan la prueba anterior están calificados para puntear todos los tipos de juntas excepto las soldaduras con juntas de ranura con penetración completa, hechas por un solo lado sin respaldo (como en conexiones de tubería a tope en T, Y y K). Estas juntas requieren ser punteadas por soldadores calificados para el proceso y la posición de la soldadura (de puntos).

4.5.17. SECCIÓN 4.20

En esta la clasificación de los soldadores y operadores de soldadura es:

- Soldaduras de ranura con juntas de penetración completa, conexiones no tubulares (ver 4.23)
- Soldaduras de ranura con juntas de penetración parcial, conexiones no tubulares (ver 4.24)
- Soldaduras de filete para conexiones no tubulares (ver 4.25)

- Soldaduras de ranura con juntas de penetración completa, conexiones tubulares (ver 4.26)
- Soldaduras de ranura con juntas de penetración parcial, conexiones tubulares (ver 4.27)
- Soldaduras de filete para conexiones tubulares (ver 4.28)
- Soldaduras de tapón y ranura para conexiones tubulares y no tubulares (ver 4.29)

4.5.18. SUBSECCIÓN 4.21. PREPARACIÓN DE FORMATOS PARA CALIFICACIÓN DE DESEMPEÑO

Esta requiere las pruebas de desempeño para ser llevadas de conformidad con un EPS. Las limitaciones de las variables esenciales del EPS de la subsección 4.7 aplican junto con las variables esenciales de desempeño de la subsección 4.22. Un Registro de Calificación del Desempeño de Soldadura RCDS (Welding Performance Qualification Record WPQR), documentado en un formato similar a el Formato E4, es para listar las variables esenciales de la tabla 4.11 (página 145). Esta tabla también está referenciada en 4.22.

Como se indicó anteriormente, la clasificación individual de las pruebas de desempeño están explicadas en las subsecciones 4.23 a 4.29.

4.5.19. SUBSECCIÓN 4.30. MÉTODOS DE PRUEBA Y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN PARA LA CALIFICACIÓN DE SOLDADORES Y OPERADORES DE SOLDADURA.

Como el título implica, aquí se detallan las varias pruebas aplicables para cada una de las clasificaciones de prueba. Cuando radiografía es usada para calificación, el procedimiento a ser seguido es aquel descrito en la Parte E de la sección 6 y el criterio de aceptación está en conformidad con 6.12.2, excepto que la provisión de 6.12.2.2 Soldaduras con Esfuerzos a Compresión no sea aplicable. En esencia, esto significa que las discontinuidades mayores a 1/16 de pulgada no son evaluadas en la base de soldaduras a tensión.

4.5.20. SUBSECCIÓN 4.31. MÉTODOS DE PRUEBA Y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN PARA LA CALIFICACIÓN DE SOLDADORES DE PUNTOS.

Esta sección requiere que la superficie de soldadura esté libre de traslapes, fisuras y mordeduras que excedan 1/32 de pulgada de profundidad y que la superficie de la soldadura no muestre porosidad. Las superficies fracturadas deben mostrar fusión en la raíz de la junta, sin inclusiones o porosidad mayores que 3/32 de pulgada en su dimensión mayor.

4.5.21. SUBSECCIÓN 4.32 RE PRUEBAS

En el caso de que soldadores, operadores de soldadura y soldadores de puntos fallen las pruebas de calificación, o hay una razón válida para dudar de sus habilidades en la soldadura o el periodo de efectividad ha pasado, las posibles acciones están detalladas en esta subsección.

Las opciones generales son una re prueba inmediata, con 2 soldaduras de cada tipo y posición en las que el soldador u operador de soldadura falló. En el caso de que haya evidencia de que un re entrenamiento es necesario, las pruebas de calificación del desempañeo vuelven a aquellas requeridas en las subsecciones precedentes.

En el caso de los soldadores de puntos, una re prueba inmediata puede ser tomada. Después de esto, el re entrenamiento es requerido antes de que pruebas posteriores sean tomadas.

Se debe recordar que las notas de pie son siempre significantes.

4.6. MÓDULO 5, AWS D1.1, SECCIÓN 4, FABRICACIÓN

4.6.1. INTRODUCCIÓN

La subsección de apertura 5.1, define el alcance y la intención de la subsección 5 como sigue:

“Todas las provisiones aplicables de esta sección deben ser observadas en la fabricación y erección de estructuras y ensamblajes soldados producidos por cualquier proceso aceptable bajo este código (ver 3.2 y 4.15)”

En otras palabras, las variables asociadas con la fabricación y erección están especificadas aquí dentro desde el metal base y su preparación hasta la aplicación de la soldadura.

4.6.2.SUBSECCIÓN 5.2 METAL BASE

Esta establece que el material base debe ser designado en términos de especificación y clasificación en los documentos contractuales, es deseable uno de esos documentos listados en la tabla 3.1 (páginas 62 a 65) o en el anexo M (páginas 377 y 378), donde sea posible. Comentarios similares aplican generalmente a los materiales base para soldadura de lóbulo, respaldo y espaciadores a pesar de que hay algunas limitaciones.

Los consumibles de soldadura y los requerimientos de electrodos son tratados generalmente en la subsección 5.3 con especificaciones importantes consideradas en esta y la Subsección 5.4 para los procesos ESW y EGW. Tales generalidades incluyen el hecho de que cuando se requiera por el Ingeniero, el contratista o fabricante debe proveer la certificación para mostrar la conformidad con el electrodo y o las combinaciones de electrodo - fundente para la clasificación aplicable.

En cambio el electrodo (y las combinaciones de electrodo y fundente), los tamaños de electrodo y los parámetros de soldadura deben ser apropiados para cada una de las operaciones y posiciones específicas de la soldadura, espesor de material base, etc. Además la corriente de soldadura debe estar dentro del rango de las recomendaciones dadas por el fabricante. Los gases usados para la protección del arco deben ser de grado de soldadura con un punto de rocío menor a -40° F (-40° C) con su certificación, si el Ingeniero así lo requiere. Puro, premezclado o mezclado en el punto de soldadura, la composición del gas protector debe estar conforme a los requerimientos aplicables del EPS.

Una vez removidos de sus contenedores originales, los consumibles de soldadura deben ser manejado y almacenados de manera que sus propiedades de soldadura no sean adversamente afectadas. Todos los electrodos deben estar secos y adecuados para su uso.

Los electrodos para SMAW deben estar conforme a los requerimientos de la AWS A 5.1 (para aceros al carbono) y a la AWS A5.5 (para aceros aleados) tan apropiados para el metal base concerniente, ver tabla 3.1 (páginas 62 a 65).

Los electrodos de bajo hidrógeno (A5.1 o A5.5) deben ser adquiridos en contenedores herméticamente sellados o ser resecados antes de su uso. Tan pronto como los contenedores sellados son abiertos, los electrodos deben ser mantenidos en hornos de contención donde una temperatura mínima de 250° F (120° C) debe ser mantenida. Nótese que la provisión anterior identifica el uso de dos tipos de hornos: hornos de mantenimiento y hornos de sacado.

La tabla 5.1 (página 193) de los tiempos de exposición atmosférica permisibles para electrodos de bajo hidrógeno después de haber sido removidos de sus contenedores herméticamente sellados o de los hornos de secado o mantenimiento. El alcance de las respectivas columnas de la tabla 5.1 está dado en las notas generales de pie de página. Es también requerido que los electrodos sean mantenidos en aljabas u otros contenedores pequeños después de ser expedidos para su uso. El sufijo R en la clasificación del electrodo está definido en la nota de pie número 4.

El procedimiento para re secado de electrodos está fijado en el subpárrafo 5.3.2.4. Esencialmente los tipos de electrodos de AWS A5.1 deben ser resecados por lo menos 2 horas a una temperatura entre 500 y 800° F (260 y 425° C). Los tipos de electrodo de baja aleación (AWS A5.5) deben ser resecados por al menos una hora entre 700 y 800° F (370 y 425° C). Requerimientos similares aplican para los electrodos de ASTM A514 y A517 (aceros Q y T) excepto en el caso de ciertos electrodos especificados en el subpárrafo 5.3.2.5.

En resumen la subsección 5.3 trata de los materiales de aporte para los procesos SAW, GMAW, FCAW y GTAW.

La soldadura por arco sumergido debe ser llevada a cabo usando una variedad de configuraciones para electrodo simple o múltiple para soldadura de ranura o filete. En el caso de electrodos múltiples, debe ser tal que la congelación de la escoria no ocurra entre los electrodos principal y seguidor.

Las combinaciones de alambre y fundente usados deben cumplir los requerimientos de AWS A5.17 (aceros al carbono) o A5.23 (aceros aleados).

Los fundentes deben estar libres de suciedad, óxido quemado u otro material extraño y provisto en contenedores apropiados para por lo menos 6 meses de almacenamiento sin que se afecte el producto de manera adversa. Fundente de empaques dañados debe ser descartado o secado por una hora a no menos de 500° F (260° C). Los contenedores de fundente deben ser llenados una vez abiertos los empaques o en el caso de que se hayan abierto los paquetes previamente, se debe descartar la primera pulgada de fundente en la parte superior del empaque. Fundente que haya sido mojado no debe usarse.

Fundente no fundido puede ser reciclado a través de cepillado, barrido o aspiración y re usado, el fabricante debe proveer un sistema para añadir fundente nuevo al reciclado y dar una composición constante y una distribución de tamaño de partículas. En el caso de re moler la escoria, detalles de los requerimientos están dados en AWS A5.01, Pautas Para la Adquisición de Metal de Aporte.

Electrodos (acero al carbono) para GMAW y FCAW deben ser como los especificados en AWS A5.18 y A5.20, respectivamente. Para metal soldado con un límite de fluencia mayor a 60 kpsi, los electrodos especificados en AWS A5.28 (GMAW) y A 5.29 (FCAW) deben ser usados.

Como se nota anteriormente, los gases de soldadura deben tener un punto de rocío menor a -40° F (-40° C).

4.6.3.SUBSECCIÓN 5.4

Cubre los requerimientos específicos para la soldadura de electro escoria y electro gas. Aceros templados y revenidos no deben ser soldados con estos procesos ni estructuras cíclicamente cargadas a tensión o sujetas a esfuerzos reversibles (tensión y compresión). Electrodos, tubos guía y fundentes están sujetos a requerimientos similares a los otros procesos. Paradas, arranques, precalentamiento, reparaciones y soldadura de correspondencia de color de aceros ambientales están especificados en detalle.

4.6.4.SUBSECCIÓN 5.5 VARIABLES DEL EPS

Esta reitera el requerimiento del uso de un EPS escrito, fusión completa, ausencia de depresiones, no mordeduras excesivas en las depresiones de soldadura y no tener excesiva concavidad en los pases iniciales de soldadura.

4.6.5.SUBSECCIÓN 5.6 TEMPERATURAS DE PRECALENTAMIENTO Y ENTRE PASES

Hace referencia a la subsección 3.5 (ver tabla 3.2, páginas 66 a 68 para las temperaturas) y la tabla 4.5 (páginas 134 a 136) para la limitación de las variables. La temperatura mínima entre pases debe ser la misma que para el precalentamiento a menos que se especifique de otra manera en el EPS. La temperatura especificada debe ser mantenida durante la soldadura a una distancia igual o mayor a el espesor del material base, pero no menor a 3 pulgadas desde el punto de soldadura. Las temperaturas de precalentamiento y entre pases deben ser chequeadas inmediatamente antes de iniciarse el arco de soldadura para cada pase.

4.6.6.SUBSECCIÓN 5.7

Tiene que ver con la soldadura de aceros templados y revenidos. Típicamente los fabricantes de acero determinan el Aporte de Calor (Heat Input) máximo. Debe ejercerse un particular cuidado donde la soldadura va a tomar lugar en los 2 lados de un miembro común. Como se mencionó previamente un acanalamiento con oxígeno en este tipo de soldaduras es prohibido.

4.6.7.SUBSECCIÓN 5.8.

Los requerimientos para el tratamiento térmico de alivio de tensiones están especificados aquí. El alivio de tensiones es habitualmente solo especificado donde la soldadura debe ser maquinada o donde algún tipo de corrosión o corrosión asistida por fractura es esperada. De todas formas, esto sirve para templar la Zona Afectada por el Calor, lo cual es uno bono altamente beneficioso.

Detalles de los procedimientos a ser seguidos están dados, con la temperatura de tratamiento térmico de 1200° F para todos excepto para los aceros templados y revenidos donde la temperatura de tratamiento térmico es

de 1100° F. La duración del tratamiento está dada en la tabla 5.2 (página 193). En el caso de los aceros templados y revenidos, el alivio de tensiones no es recomendado, no obstante la provisión da los límites de temperatura dados anteriormente.

En el caso de que no sea práctico llegar a la temperatura especificada en el tratamiento, la tabla 5.3 (página 193) da requerimientos alternativos de tiempo y temperatura.

4.6.8.SUBSECCIONES 5.9 Y 5.10

Estas tratan con el respaldo (soldado). Juntas de ranura de penetración completa deben ser soldadas con o el uso de respaldo soldado o haciendo una remoción y suelda trasera desde el segundo lado de soldadura. La excepción a esta provisión es en el caso de ciertas conexiones (tubo) T, Y y K, referidas anteriormente.

Las raíces de las soldaduras de ranura o filete deben ser respaldadas con cobre, cinta de vidrio, cerámico, polvo de hierro o un material similar usado para prevenir la fusión excesiva. En el caso de que el metal de soldadura sea usado, se debe aplicar por un proceso o electrodo de bajo hidrógeno. En el caso de respaldo de acero, las condiciones de uso, espesor, etc. están especificados.

4.6.9.SUBSECCIÓN 5.12 AMBIENTE DE SOLDADURA.

Trata de la velocidad del viento en el área de un proceso de soldadura protegido por gas (el límite es 5 mph para los procesos GTAW, GMAW, EGW y PAW). Esta también cubre los asuntos de temperatura ambiente y condiciones de soldadura adversa.

Ningún cambio debe ser hecho en los tamaños, longitudes y ubicaciones de soldadura a menos que sean aprobados por el Ingeniero. El tamaño mínimo de las soldaduras de filete (excepto para soldaduras de refuerzo en juntas de ranura tipo T) debe estar conforme a los requerimientos de la tabla 5.8 (página 194). En el caso del tamaño de soldadura de filete no está especificado en ninguna parte, el mínimo aplica. En conexión con esta subsección, debe ser útil la consulta de los Comentarios del código. El razonamiento para las limitaciones y requerimientos están explicadas aquí dentro.

4.6.10. SUBSECCIÓN 5.15 PREPARACIÓN DEL METAL BASE.

Como le título dice, se especifican las condiciones a ser usadas. Las superficies a ser soldadas (caras de la ranura y área del filete a ser soldadas) deben estar libres de rebabas, arrugas y goteos. En la mayoría, pero no en todos os casos, puede retenerse firmemente adherido óxido quemado, así como una fina capa de óxido inhibidor o un compuesto anti salpicadura.

Discontinuidades óxidos inducidos deben ser evaluadas y se debe tomar acción según lo especificado en la subsección 5.4. Estos requerimientos están ampliados en la figura 5.1 (página 195) en el texto del código.

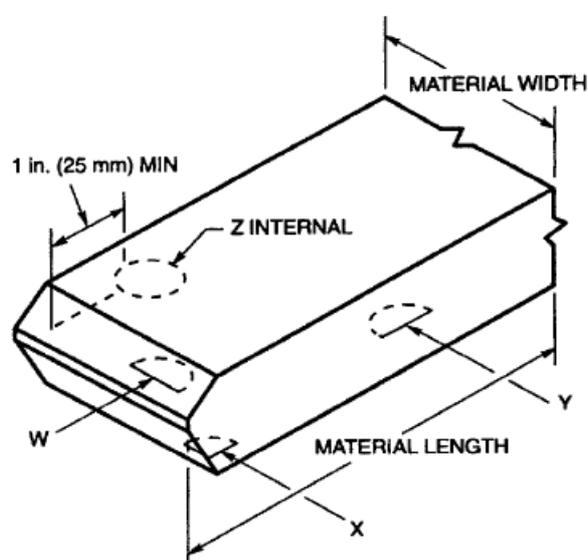


Figura 4.17. Discontinuidades de borde en el corte de material.

En el caso de que una reparación sea necesaria, las provisiones de 5.15.1.2 son aplicables. De todas formas, el contenido del código que dice “nota” debería ser cuidadosamente considerado.

Excepto para el caso de la limitación del acero templado y revenido o aceros ordenados como normalizados, las juntas deben ser preparadas para soldadura por maquinado, corte térmico, corte o amolado. Los proceso de corte térmico aprobados bajo el código, incluyendo corte por arco eléctrico, remoción de material y corte con oxidas, deben ser usados dentro de los límites expuestos en esta sección. Las limitaciones de aspereza aplican tal como lo hacen las limitaciones para acanaladuras y muescas. Reparaciones por amoladora son permitidas si la sección perdida no excede el 2%.

Las esquinas restringidas son tratadas en la subsección 5.16. Una transición gradual y un radio no menor que 1 pulgada son requeridos. Los requerimientos para vigas tapadas y agujeros de acceso a la soldadura están indicados en la subsección 5.7, la cual está amplificada en la figura 5.2 (página 196), donde las operaciones de geometría para agujeros de acceso para soldadura están dadas. La referencia en el texto (5.17.2) y las notas de la figura ASTM A6, grupo 4 y 5 se refieran a secciones jumbo. Nótese los requerimientos para la preparación para corte de superficie y preparación.

Los requerimientos para soldaduras temporales y para soldadura de puntos están discutidos en la subsección 5.18. En general las soldaduras de puntos deben ser refundidas y no requieren ser precalentadas. Para juntas a ser soldadas con SAW, las discontinuidades menores en puntos de soldadura no necesitan ser corregidas. Tales puntos no deben hacer cambios objetables en la apariencia final de la soldadura. Las terminaciones de soldaduras de puntos en pases múltiples deben ser en cascada (ver figura 4.17 abajo), con calidad en los puntos similar a la soldadura final. El o los electrodos usados en la soldadura de puntos a ser incorporada a las soldaduras finales deben también cumplir con los requerimientos finales de soldadura.

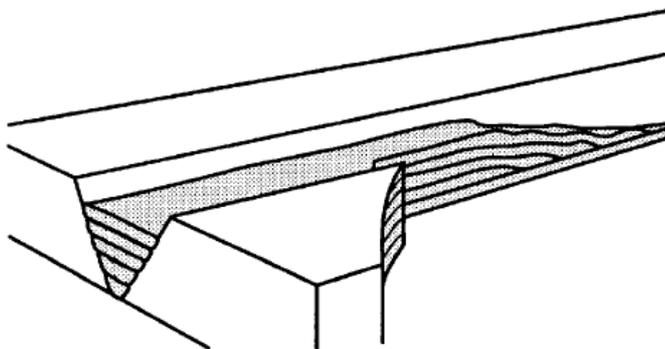


Figura 4.17. Secuencia en capas de la soldadura de cascada.

4.6.11. SUBSECCIÓN 5.19

Esta trata con el arqueado en la construcción de miembros (estructurales). Los bordes del alma deben ser cortados con la curvatura apropiada, con una tolerancia apropiada para un encogimiento de soldadura provisto. Variaciones modestas pueden ser hechas usando calor, pero una previa aprobación del Ingeniero es necesaria si están involucrados ceros templados y revenidos.

Para estructuras cíclicamente cargadas, la subsección 5.20 requiere juntas entre vigas roladas o entramados contruidos para estar en un plano simple. Juntas de taller de almas y patines en miembros contruidos deben ser hechas antes de la soldadura de ensamble. Y preferiblemente en un plano simple.

4.6.12. SUBSECCIÓN 5.21 CONTROL DE DISTORSIÓN Y ENCOGIMIENTO.

Este requiere que la secuencia de soldadura sea tal que la distorsión y el encogimiento sean mínimos. Tanto como sea posible, la soldadura debe ser llevada a cabo de una manera que haya un balance continuo del calor de soldadura. Si se requiere por contrato o por el Ingeniero, o si la adecuación de la estructura puede ser adversamente afectada por la distorsión y/o el encogimiento, el contratista debe preparar, enviar y trabajar con una apropiada secuencia de soldadura.

La progresión general de soldadura debe ser desde áreas con gran restricción hacia áreas con menor restricción. Juntas con un gran encogimiento deben ser soldadas antes de aquellas con menos encogimiento. En todos los casos, la restricción de las juntas debe ser minimizada. Las juntas de taller de vigas con cubre placas o miembros contruidos deben ser hechas antes del ensamblaje. Subensamblajes, los cuales hayan sido usados para miembros largos, deben ser empalmados con soldadura balanceada entre las sueldas del alma y del patín y alrededor de los ejes mayores y menores.

El párrafo 5.21.7 especifica detalles de soldadura para ser hecha bajo condiciones de restricción. Una vez empezada, la soldadura debe continuar ininterrumpidamente, con precalentamiento y una temperatura entre pases mantenida, hasta que la soldadura de tales juntas sean completada, o alternativamente, hasta que suficiente soldadura sea aplicada para asegurar libertad de fisuramiento.

Sección 5.22. Tolerancia Dimensional de Juntas.

Esta es una provisión muy significativa del código. Con excepción de materiales menores a 3 pulgadas de espesor, la separación máxima entre miembros no debe ser mayor que 3/16 de pulgada o superficies de contacto no mayores a 1/16 de pulgada. Las soldaduras de filete con una junta tipo T con

una separación mayor a 1/16 de pulgada deben tener la separación sumada al tamaño de soldadura. Ensamblaje es la palabra clave.

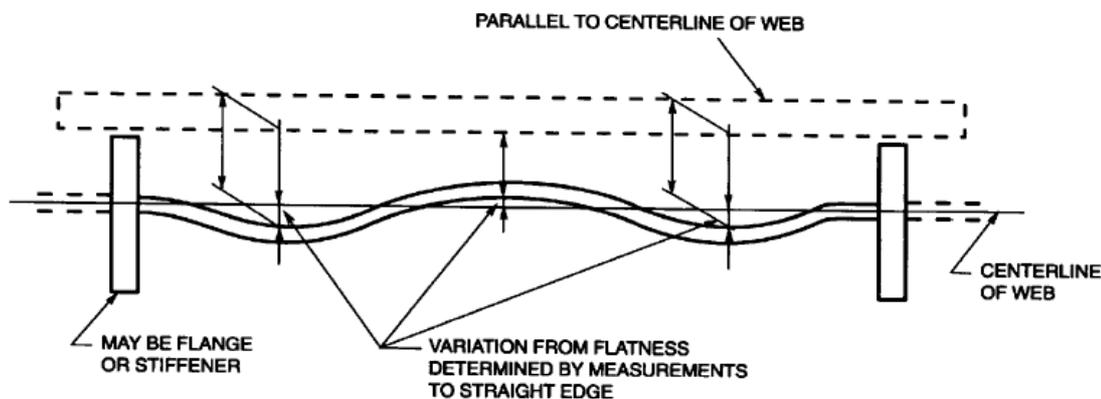


Figura 4.18. Método típico para medición de la variación del miembro desde la línea de centro media.

Las tolerancias están determinadas por ambos, cálculo basado en la longitud del miembro o por los datos dados en las tablas 5.6 o 5.7 (página 194). Los títulos del párrafo hacen referencia a los miembros específicos: 5.23.2 Vigas y Entramados Rectos y 5.23.3 Vigas y Entramados Arqueados.

4.6.13. SUBSECCIÓN 5.24. PERFILES DE SOLDADURA.

Esta requiere que las soldaduras estén libres de fisuras, traslapes y otras discontinuidades de perfil inaceptables expuestas en la figura 5.4 (página 198) en el texto del código. Dos principios importantes están incluidos ahí. Las soldaduras de filete tienen convexidad (C) o concavidad. Las soldaduras de ranura tienen sobremonta (R) o falta de llenado.

La sobremonta permitida es fijada mientras que la convexidad está basada en el tamaño de la soldadura. La tabla en la figura 5.4 (página 198), entre los perfiles de soldadura de filete aceptable e inaceptables, da detalles. Esto se compara con la altura de la sobremonta permitida, la cual está fijada en 1/8 de pulgada, independientemente del espesor de los miembros.

Soldaduras especificadas a ser vaciadas deben ser terminadas de tal manera que no se disminuya el espesor del miembro por más que menor entre 5% o 1/32 de pulgada, y la altura de la sobremonta no debe exceder 1/32 de

pulgada, excepto para las superficies de contacto, donde la sobremonta debes ser cero.

Subsección 5.25. Soldaduras de Tapón y ranura.

Esta cubre las técnicas a ser usadas cuando la soldadura de tapón es por SMAW, GMAW (excepto GMAW-S) y FCAW en las posiciones de soldadura plana, vertical y sobre cabeza. La soldadura de ranura sigue las mismas reglas generales excepto donde la ranura es mayor a 3 veces su ancho o la ranura se extiende hasta la parte del borde. En estos casos la técnica sobre cabeza (5.25.1.3) debes ser seguida.

4.6.14. SUBSECCIÓN 5.26 REPARACIONES.

Cubre las técnicas a ser usada para la reparación y corrección de discontinuidades de la soldadura de miembros torcidos. El párrafo en estudio detalla los métodos que deben ser usados para la preparación de las áreas a ser reparadas. Esta requiere que las deficiencias en el tamaño de soldadura sean reparadas por la aplicación de metal de soldadura.

En todas las instancias el contratista tiene la opción de repara las discontinuidades no conformes o de reemplazar la soldadura entera. Las áreas reparadas o reemplazadas deben ser probadas en la misma manera y con el mismo criterio que para el área de soldadura original.

Las reparaciones de soldadura están divididas en 4 grupos.

- Donde exceso de material soldado, tal como en una convexidad, sobremonta o traslape, esta debe ser removida.
- Donde hay insuficiencia de metal de soldadura, tal como concavidad, soldadura bajo el tamaño o mordeduras, esta debe ser reemplazada.
- En el caso de fusión incompleta, porosidad excesiva o inclusiones de escoria, las porciones no conformes deben ser removidas y reemplazadas.
- Todas las fisuras, en el metal base o en el de soldadura, deben ser examinadas para establecer su extensión. El método es opcional; ataque ácido, partículas magnéticas o líquidos penetrantes, para esta instancia, pero este debe ser positivo. Esto involucra la localización

física de la fisura. La radiografía, para esta instancia, no es una prueba positiva en este contexto, siendo sensitiva a la orientación. La totalidad de la longitud de la soldadura debe ser excavada junto con una porción adicional de metal bueno de 2 pulgadas para cada punta de la fisura. Luego la reparación debe ser llevada a cabo por soldadura.

Cuando se usa calor para facilitar la corrección de distorsión, la temperatura máxima aplicable es la del tratamiento térmico. La aprobación del Ingeniero (para llevar a cabo la reparación) es requerida en un número de instancias, incluyendo fisuras mayores o retardadas y para la reparación de discontinuidades internas en las juntas soldadas por electro escoria o por electro gas.

La soldadura debe ser también usada para reparar agujeros mal ubicados en miembros. Un número de condiciones aplican y el texto del código (5.26.5) y los Comentarios deben ser consultados ambos antes de que tales trabajos sean intentados. Esto es una particularidad aplicable en soldaduras donde esfuerzos cíclicos de tensión están involucrados.

4.6.15. SUBSECCIÓN 5.27 PEENING

Establece que las a capas intermedias de soldadura se les deben hacer peening si un cuidado es ejercido para evitar fisuramiento o traslape. El uso de martillos manuales y herramientas vibradoras ligeras para escoria y remoción de salpicaduras no se considera Peening.

El relleno es permitido dentro de los límites especificados en 5.28.

4.6.16. SUBSECCIÓN 5.29 GOLPES DE ARCO.

Esta requiere que "Fisuras o defectos causados por golpes de arco sean esmerilados hacia un contorno suave y chequeados para asegurar integridad". Este procedimiento está conducido para tener una prueba positiva en ensayos tales como Partículas Magnéticas o Tintas Penetrantes.

4.6.17. SUBSECCIÓN 5.30 LIMPIEZA DE SOLDADURA.

Esta provee información para ambos casos, para la limpieza de soldadura en proceso o soldadura terminada. Excepto en el caso permitido de la

soldadura de tapón y ranura, la escoria debe ser removida de la soldadura y la salpicadura de la soldadura y el metal base adyacente previo a la reanudación de la soldadura seguida a cualquier interrupción.

La subsección final de la sección 5 trata con la soldadura de lóbulos. Esta debe ser leída en conjunción con el párrafo 5.2.2, como se nota en el texto. Los Comentarios hacen notar que el inicio y el final de la soldadura tienen una gran porción de discontinuidades. El propósito de la soldadura de lóbulos es colocar estas zonas más allá de los alcances de la soldadura. La remoción post-soldadura de estos lóbulos es mandataria bajo ciertas circunstancias. En la remoción de lóbulos, debe ejercerse cuidado para asegurar que las juntas soldadas no sean entregadas fuera del cumplimiento dimensional.

4.6.18. CONCLUSIÓN

La sección 5, como su nombre lo dice “Fabricación”, cubre los requerimientos para el manejo y las técnicas para ser observadas durante la preparación y producción de productos soldados. También especifica la manera en la cual las discontinuidades deben ser reparadas y las deficiencias ser superadas.

4.7. MÓDULO 6, AWS D1.1, SECCIÓN 6, INSPECCIÓN

4.7.1. INTRODUCCIÓN

La sección 6 comprende 7 partes:

- A. Requerimientos generales
- B. Responsabilidades del contratista
- C. Criterios de aceptación
- D. Procedimientos de pruebas no destructivas
- E. Prueba radiográfica
- F. Prueba de ultrasonido en soldaduras de ranura
- G. Otros métodos de examinación.

4.7.2. ALCANCE

El párrafo de apertura no numerado define el alcance y el propósito de la sección 6 como sigue:

“La sección 6 contiene los requerimientos para las responsabilidades y calificaciones del Inspector, criterios de aceptación para discontinuidades y procedimientos para END”.

4.7.3. PARTE A

Especifica las obligaciones del contratista y las responsabilidades para la inspección visual y la corrección necesaria de todas las deficiencias en el material y mano de obra de acuerdo con los requerimientos del código.

La inspección y prueba de la fabricación y erección y la inspección por verificación y prueba, son consideradas como funciones separadas. Esta última se lleva a cabo antes durante y después del ensamblaje y soldadura, como sea necesario, para asegurar las condiciones del contrato en términos de materiales y mano de obra sean satisfechas. La inspección de la fabricación y erección o montaje es responsabilidad del contratista.

La inspección por verificación (y pruebas) so prerrogativas del dueño, y deben ser ejercidas en cualquier manera considerada apropiada. Sin embargo, el alcance y la mecánica de la inspección por verificación son requeridas para ser especificadas en los documentos contractuales.

Cuando los términos no calificados como “inspección” o “inspector” son usados, ellos deben aplicarse igualmente a la inspección (o inspector) de fabricación y erección y la inspección (o inspector) por verificación, dentro de los límites definidos en el párrafo 6.1.2.

4.7.3.1. Párrafo 6.1.4 requerimientos para Calificación del Inspector.

Señala que “El Inspector responsable de la aceptación o rechazo del material o mano de obra debe ser calificado. Las bases de la calificación del Inspector deben estar documentadas”. El párrafo lista tres grupos de personas consideradas para tener las calificaciones apropiadas:

- Calificaciones actuales o previas como Inspector de Soldadura Certificado ISC (Certified Welding Inspector CWI)
- Calificaciones actuales o previas como un inspector certificado del Buró Canadiense de Soldadura

- Un ingeniero o técnico quien, por entrenamiento o experiencia, considerado competente (por el Ingeniero) para desarrollar el trabajo de inspección.

Por consiguiente a lo previo, el periodo de efectividad de la calificación del inspector es indefinido, con tal de que el inspector permanezca activo en la inspección y no haya duda sobre su capacidad. Inspectores asistentes pueden ser empleados pero el inspector es el responsable. Ambos inspectores e inspectores asistentes están obligados a probar su agudeza visual cada tres años o menos.

El Inspector es responsable de establecer que toda fabricación o erección por soldadura sea llevada a cabo de acuerdo con las provisiones del contrato. El inspector debe estar provisto con planos completos y detallados mostrando, tamaños, tipos, longitudes y localizaciones de todas las soldaduras. Una copia de la porción del contrato describiendo los requerimientos de material y calidad de los productos también debe ser provista. El inspector debe ser notificado del avance e inicio de las operaciones sujetas a inspección.

4.7.4.SUBSECCIÓN 6.2 INSPECCIÓN DE MATERIALES.

Esta requiere que los inspectores determinen que solo los materiales conforme al código sean usados en construcción. Requerimientos similares pero apropiados aplican en las subsecciones 6.3 Inspección de EPS y Equipo y 6.4 Inspección de Calificaciones de Soldadores, Operadores de Soldadura y Soldadores de Puntos.

4.7.5.SUBSECCIÓN 6.5 INSPECCIÓN DE TRABAJO Y REGISTROS.

Los deberes y funciones del inspector están establecidos en esta sección. A parte de las provisiones obvias de los párrafos 6.5.1 a 6.5.3, el párrafo 6.5.4 requiere examinación del trabajo antes, durante u después de la soldadura para establecer la observación y conformidad de todas las provisiones aplicables del código.

El párrafo 6.5.5 refuerza al 6.5.4 pero permite el uso de otros criterios de aceptación, provistos si tienen la aprobación del Ingeniero. "Tamaño y contorno de la soldadura deben ser medidos con galgas apropiadas. La

inspección visual de fisuras en la soldadura y material base y otras discontinuidades debe ser ayudada de una luz fuerte, lupas u otros artículos que se puedan encontrar útiles”.

El párrafo 6.5.6 requiere que el inspector identifique “...todas las partes o juntas que hayan sido inspeccionadas y aceptadas”. Esto se dirige específicamente a miembros cíclicamente cargados que no deberán ser liberados sin la aprobación del inspector. Finalmente en el párrafo 6.5.7, el inspector es llamado a mantener registros de todos los procedimientos y desarrollo de calificaciones aplicables y de pruebas “...y cualquier otra información que pueda ser requerida”.

4.7.6. PARTE B

Como le título indica fija las responsabilidades del contratista, las cuales están definidas en una subsección simple.

4.7.7. SUBSECCIÓN 6.6 OBLIGACIONES DEL CONTRATISTA

El contratista es responsable de la inspección visual de todas las soldaduras y la reparación de deficiencias en los materiales y mano de obra, de acuerdo con las provisiones del código. El contratista debe cumplir con todos los requerimientos del inspector para corregir las deficiencias, como se defina en los documentos del contrato. Si una soldadura defectuosa o su remoción de daños re soldados de una manera el Ingeniero estima que no está de acuerdo con el objetivo del contrato, el contratista deberá remover y reparar el material base dañado o de otra manera proveer la compensación para la satisfacción del Ingeniero.

Para contratar otras pruebas no destructivas específicas a más de la inspección visual, es responsabilidad del contratista asegurar que las sueldas probadas cumplan con los criterios de aceptación de la Parte C. Si las pruebas no destructivas no están especificadas en el contrato pero son subsecuentemente requeridas por el dueño, el contratista deberá desarrollar las pruebas requeridas o permitir las pruebas según la subsección 6.14. Todos los costos asociados con las pruebas no especificadas en el contrato deben ser a cuenta del dueño, excepto con lo provisto en la subsección 6.9. Si las

pruebas revelan cualquier intento de fraude o una no conformidad total con el código, el contratista deberá cubrir los costos de reparación.

4.7.8. PARTE C CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

Esta especifica los criterios de aceptación para pruebas visuales y no destructivas de conexiones tubulares y no tubulares estática y cíclicamente cargadas. Esta información y la extensión de la inspección deberán ser especificadas en los documentos contractuales.

Criterios de aceptación para soldadura de producción difieren de los especificados y pueden ser usados si el Ingeniero aprueba los cambios propuestos. La base de tales cambios debe ser la experiencia previa, evidencia experimental o un análisis de ingeniería.

4.7.9. SUBSECCIÓN 6.9. INSPECCIÓN VISUAL.

Esta requiere que todas las soldaduras sean inspeccionadas visualmente y evaluadas de acuerdo con los criterios de la tabla 6.1 (página 218).

Las subsecciones 6.10 y 6.11 especifican que la superficie de las pruebas de Partículas Magnéticas y Tintas Penetrantes, respectivamente, sean llevadas a cabo de acuerdo con los párrafos 6.14.4 y 6.14.5 y sean evaluadas según la Parte C.

Excepto como lo provisto en la subsección 6.18 y los requerimientos y las calificaciones de los equipos de END, las calificaciones del personal de END y las técnicas de prueba deben estar de acuerdo con las provisiones de la sección 6 del código. Previo a cualquier END, todas las soldaduras a ser probadas deben estar visualmente aprobadas de acuerdo a las provisiones aplicables de la tabla 6.1 (página 218).

Soldaduras sujetas a Partículas Magnéticas y Tintas Penetrantes y a Radiografía o Ultrasonido, deben ser probadas tan pronto después de completada la soldadura y el metal base se haya enfriado a la temperatura ambiente. De todas formas para aceros templados y revenidos, ASTM A514 y A517, la inspección visual y los END deberán ser realizados no antes de 48 horas después de la terminación de la soldadura.

El párrafo 6.11 trata con la inspección de conexiones no tubulares. Un requerimiento significativo es aquel que para soldaduras de ranura con juntas de penetración completa para ser hechas por un solo lado o sin respaldo, la examinación por radiografía o ultrasonido y conforme a las provisiones de los párrafos 6.12.3 (RT) y 6.13.3 (UT) respectivamente es mandataria. Así, si una junta de penetración completa de ranura para tubería de diámetro pequeño, la radiografía y el ultrasonido son requerimientos.

4.7.10. SUBSECCIÓN 6.12 INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA Y 6.13 INSPECCIÓN ULTRASÓNICA.

Ambas tratan sobre los criterios de conformidad para juntas soldadas, examinadas por el respectivo método.

Nota: esto contrasta con la Parte D Pruebas no destructivas, Parte E Prueba radiográfica y Parte F Prueba ultrasónica. Estas partes detallan las técnicas a ser usadas en la aplicación de los respectivos métodos. Es importante reconocer los diferentes roles. Para reiterar, la Parte C trata con los criterios de aceptación para todas las técnicas de prueba, desde la inspección visual hasta los métodos superficiales y sub superficiales. Las partes D, E y F cada una cubren una o más técnicas de prueba específica.

Debe ser observado que los criterios de aceptación de la soldadura están fijados en tres distintas áreas:

- Conexiones no tubulares estáticamente cargadas.
- Conexiones no tubulares cíclicamente cargadas.
- Conexiones tubulares.

De lo anterior, antes de buscar un criterio de aceptación, es necesario establecer qué tipo de conexión(es) tiene(n) que ser evaluadas. Basadas en el tamaño de soldadura, las curvas de las figuras 6.1 (página 226) y 6.4 a 6.6 (página 229 a 234) dan las dimensiones máximas permisibles. Se debe ingresar al gráfico con el tamaño de soldadura A. Luego proyectar una línea horizontal hacia la curva B. Leer la dimensión obtenida. Para las discontinuidades múltiples, la distancia mínima permisible entre las discontinuidades se obtiene al dibujar una línea perpendicular al eje horizontal C.

Para conexiones entre miembros tubulares, las figuras 6.2 (página 227) y 6.3 (página 228) son representaciones gráficas de las imágenes máximas permisibles, como se muestra en 6.13.3 y en la figura 6.6, la cual se extiende por 4 páginas (páginas 231 a 234)

Los criterios de aceptación para conexiones ultrasónicamente probadas están dados en la subsección 6.13. La evaluación es llevada a cabo en conjunción con las pruebas y los criterios de aceptación que están dados en términos de variación decibeles (db) Clases Discontinuas Severas. Estos datos están dados en la tabla 6.2 (no tubulares estáticamente cargadas, página 219) y la tabla 6.3 (no tubulares cíclicamente cargadas, página 220) respectivamente.

Para conexiones no tubulares, el tipo de pruebas y su evaluación es dependiente de la configuración de la junta. La hoja de requisitos está fijada en el párrafo 6.13.3, amplificada por la figura 6.7 (páginas 235 a 236) y la figura 6.8 (página 237).

Como un principio, la evaluación por radiografía o ultrasonido de conexiones soldadas requiere que el técnico requerido esté completamente consiente de detalles tales como la configuración de juntas y geometrías, espesor del material y proceso(s) de soldadura empleado(s).

4.7.11. Parte D. Procedimientos de Pruebas No Destructivas.

Esta hace una declaración muy importante, que la inspección visual y otros métodos son complementarios. Todos los métodos de END tienen limitaciones. La expectativa de alguno de los métodos detectará todas las discontinuidades fuera de norma es totalmente errónea y sin ningún mérito.

La Parte D especifica las respectivas técnicas de prueba a ser usadas por cada método de prueba. El personal de END debe ser calificado y certificado por la ASNT-TC-1A. La calificación como CWI no es un prerrequisito para el personal de END. El tamaño de las pruebas y el tipo de pruebas a ser usadas son provistos para todos postores.

De este título, el alcance de la subsección 6.16 Prueba Radiográfica de Soldadura de Ranura en Juntas a Tope es bastante claro. La radiografía debe ser llevada a cabo de conformidad con los métodos de prueba ASTM E 94,

E142, E 747 y E1032, tanto como sea practicable. De todas formas, variaciones de lo anterior son permitidas si las partes contratantes llegan a un acuerdo.

4.7.12. SUBSECCIÓN 6.17. PROCEDIMIENTOS RADIOGRÁFICOS.

Esta requiere que la radiografía debe ser llevada a cabo con una sola fuente, cualquiera sea esta de Rayos X o Rayos γ .

Las técnicas de radiografía deben proporcionar suficiente sensibilidad para identificar claramente el agujero esencial o el alambre esencial de indicador de calidad de imagen (ICI) en uso. Para un espesor de metal base dado, los requerimientos del ICI están mostrados en la tabla 6.4 (Tipo agujero) y la tabla 6.5 (Tipo alambre) (página 221). La selección y colocación de las ICIs están dadas en los párrafos 6.17.7 y la tabla 6.6 en la página 222.

Para la radiografía, los refuerzos de soldadura son siempre una consideración, tal como las sobremonta de soldadura o la soldadura de respaldo. Donde los refuerzos no sean removidos, pacas del mismo material deben ser colocadas abajo de cada ICI para que la radicación pase aproximadamente por el mismo espesor que el del metal base mas su refuerzo.

La identificación de la soldadura es obviamente un requerimiento. La disposición general de la radiografía debe ser como la mostrada en las figuras 6.11 a 6.14 (páginas 240 a 243). La película radiográfica usada debe ser como la descrita en ASTM E 94, usando pantallas de plomo, como lo especifica ahí mismo. Las pantallas fluorescentes no están permitidas.

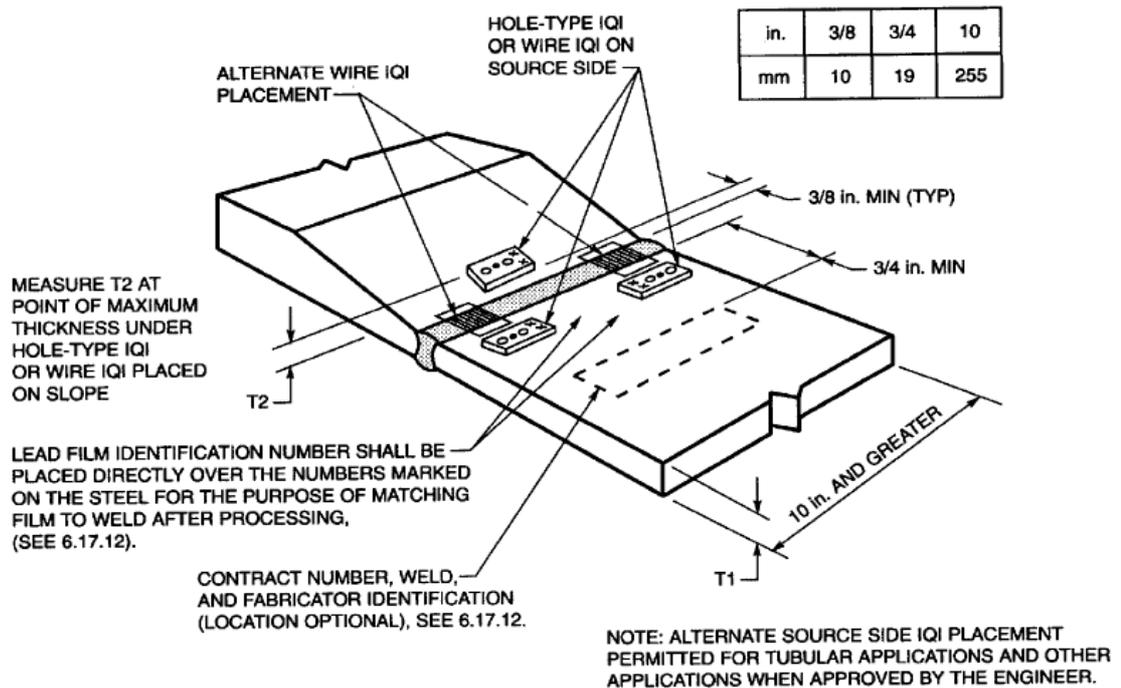


Figura 4.19. Colocación de ICIs tipos agujero y alambre y marcadores para la identificación de juntas para Radiografía.

La calidad de la imagen radiográfica también depende de la distancia Fuente – Objeto (dfo). Disminuyendo esta distancia se mejora la sensibilidad de la imagen resultante. De todas formas, el poder radiológico disminuye con el cuadrado de la distancia recorrida. Ahora, para una fuente dada, doblar la dfo cuadruplicará el tiempo de exposición requerido. Esto afectará de manera adversa el costo y la seguridad. También, tanto como la dfo disminuya, la agudeza geométrica aumenta. El código da una dfo mínima.

El otro aspecto de la calidad de la imagen es la densidad. En general, mientras más radiación alcance a la película, más oscura esta se volverá; además el contraste debe ser entre porciones disímiles de la imagen. La densidad es medida la razón entre la luz aplicada a la superficie de la película y la transmitida a través de la imagen. Debido a razones muy grandes involucradas, la densidad es medida en términos logarítmicos y representan una medida cuantitativa del ennegrecimiento de la película, que ha tomado lugar.

Para Rayos X, una densidad mínima de 1.8 es requerida, mientras que para fuentes de radiación gamma, una densidad de 2 es la mínima especificada.

Como un límite parcial las densidades con valores mayores a 4 son extremadamente oscuras.

Las consideraciones adicionales apropiadas a conexiones tubulares están fijadas en la subsección 6.18 y mostradas en las figuras 6.16 a 6.19 (páginas 244 y 245). Dependiendo del diámetro una o más técnicas son utilizables. Para trabajo con diámetros muy pequeños, una exposición de doble pared elíptica (según la figura 6.18 página 245) es requerida, generalmente con un ICI del lado de la fuente.

El contratista debe proveer un iluminador satisfactorio. Antes de la aceptación del dueño, las películas y los reportes de las soldaduras sometidas a radiografía, a más de discontinuidad fuera de norma previa reparación, debe ser enviada al inspector de verificación.

Las obligaciones del contratista con respecto a la retención y entrega de registros para el dueño están fijadas en el párrafo 6.19.3 y concluye la Parte E del código.

4.7.13. PARTE F. PRUEBAS ULTRASÓNICAS EN SOLDADURAS DE RANURA

Esta establece que los límites para la prueba ultrasónica deben ser para un espesor entre 5/16 y 8 pulgadas de metal base cuando tal prueba sea requerida in la subsección 6.14. Esta también hace notar los procedimientos generales especificados, a ser usados para pruebas en conexiones tubo – tubo tipo T, Y o K. La subsección 6.27 trata con las conexiones de ese tipo.

Los operadores de ultrasonido, como se discutió en el párrafo 6.14.6, están llamados a tomar una prueba práctica y específica en el uso y operación de este código. El operador de ultrasonido debe demostrar habilidad al aplicar las reglas de este código en la atinada detección y disposición de discontinuidades.

4.7.14. SUBSECCIÓN 6.22 EQUIPO DE ULTRASONIDO

Esta describe los requerimientos para instrumentos de Ultrasonido y los transductores a ser usados. El modo desplegado tiene que estar en el escáner A en un tubo de rayos catódicos con el tiempo base horizontal y con la amplitud

en decibeles en el eje vertical. El rango no debes ser menor que 60 db, con variaciones en respuestas no mayores que ± 1 db con fluctuaciones en la fuente de voltaje de 15% nominal, o si es energizado por baterías, a través de su vida operativa de carga.

Transductores emisores de línea recta no deben ser menores de $\frac{1}{2}$ pulgada en el área activa, capaces de resolver reflexiones según la subsección 6.29. Transductores de ángulo deben dar buenas emisiones dentro del 2% en 45°, 60° o 70°, tanto como sea aplicable, y calificados usando un bloque de calibración IWW, ver figura 6.21 (página 246)

El resumen de la Parte F detalla la manera en la cual el equipamiento es calibrado y la manera en la cual las pruebas y la evaluación deben ser llevadas a cabo.

4.7.15. PARTE G. OTROS MÉTODOS DE EXAMINACIÓN

Esta está limitada a dos subsecciones, principalmente la 6.35 Sistemas de imagen por Radiación Incluyendo Imagen en Tiempo Real. Requerimientos para productores, técnicas de operación y los registros requeridos están especificados.

4.8. MÓDULO 7, AWS D1.1, SECCIÓN 7, SOLDADURA DE ESPÁRRAGOS

4.8.1. INTRODUCCIÓN

Esta sección contiene los requerimientos generales para la soldadura de espárragos de acero al metal base de acero. Esta también estipula los requerimientos específicos para:

1. Mano de obra, calificación de operadores y la aplicación de las pruebas de calificación cuando sean requeridas, todas desarrolladas por el contratista.
2. Fabricación en proceso e inspección por verificación.
3. Propiedades mecánicas de los espárragos de acero, requerimientos para la calificación de las bases de espárragos, con pruebas y documentación que debe ser provista por el fabricante de los espárragos.

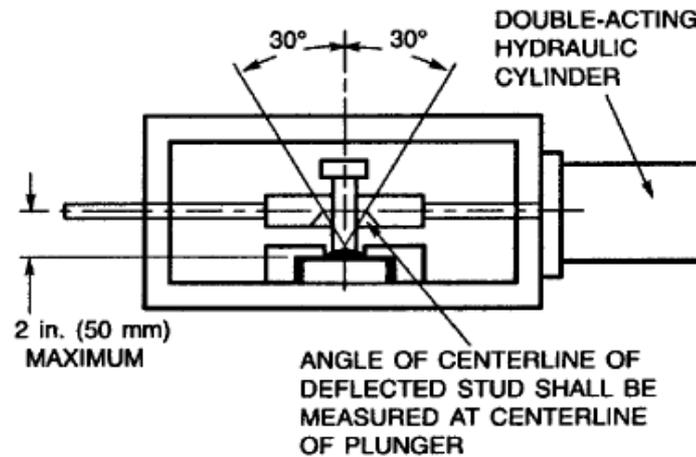
4.8.2. SUBSECCIONES 7.2. REQUERIMIENTOS GENERALES Y 7.3. REQUERIMIENTOS MECÁNICOS.

Estas especifican que mientras los espárragos pueden ser de casi cualquier forma, como se muestra en la figura 4.19, la forma general está es como la mostrada en la figura 7.1 (página 259) con las dimensiones típicas mostradas en la tabla que la acompaña.



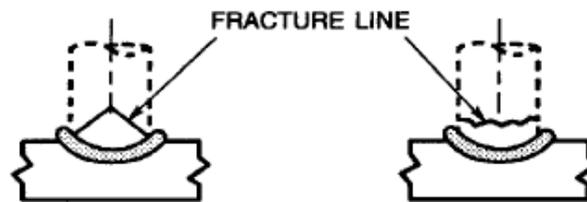
Figura 4.19. Espárragos usados como accesorios soldados.

Arcos protegidos por cerámica son requeridos para todos los espárragos. Para espárragos de diámetro mayores o iguales a $5/16$ de pulgada, una base de fundente también es requerida. Los espárragos deben ser calificados como lo establecido en el Anexo IX (páginas 291 a 293) del código. El procedimiento de prueba, típicamente llevado a cabo por el fabricante de los espárragos, incluye pruebas de tensión, como lo mostrado en la figura 7.2 (página 259).

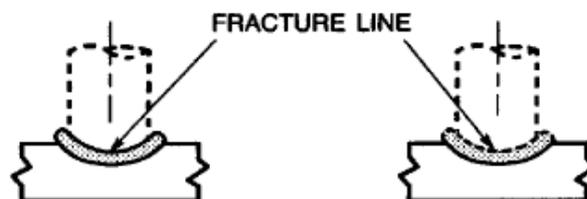


Notes:

1. Fixture holds specimen and stud is bent 30° alternately in opposite directions.
2. Load can be applied with hydraulic cylinder (shown) or fixture adapted for use with tension test machine.



TYPICAL FRACTURES IN SHANK OF STUD



Note: Fracture in weld near stud fillet remains on plate.

Note: Fracture through flash torn from plate.

TYPICAL WELD FAILURES

Figura 4.20. Prueba de aparejo para calificación de bases para espárragos.

Los espárragos deben ser de acero ASTM A108, grados 1010 y 1020. Las propiedades mecánicas deben estar conforme a la tabla 7.1 (página 258).

Los espárragos deben estar limpios, libres de óxido, agujeros de óxido, aceite, humedad y otros materiales nocivos. Los espárragos no deben ser pintados, recubiertos, galvanizados o plateados con cadmio, antes de la soldadura.

Así mismo, las áreas donde los espárragos van que ser colocados debe estar limpias y libres de cualquier materia nociva en la extensión necesaria para obtener soldaduras satisfactorias y para prevenir humos. La limpieza puede ser por cepillado, decapado, golpe y punzonado o amolado. La protección del arco debe mantenerse seca y cualquier espárrago que muestre evidencia de rocío o humedad debe ser secado al horno a 250° F por dos horas antes de su uso.

El párrafo 7.4.5 permite una tolerancia de más de una pulgada de variación de la colocación de los espárragos respecto de otros y de los bordes de los miembros donde se colocan, como se muestra en los planos. De todas formas 1 ½ es la distancia mínima recomendada desde el borde de un ribete, el mínimo debe ser el espárrago de diámetro mayor que 1/8 de pulgada.

Para espárragos que van a ser embebidos en concreto, y preferiblemente en el caso de todos los otros espárragos, los escudos del arco (virolas) deben ser rotos y removidos después de la soldadura. Las soldaduras deben exhibir una libertad de discontinuidades y rebabas o sustancias que interfieran con el trabajo del elemento, en todos los 360° del espárrago. Sin embargo, la provisiones para el perfil de la soldadura de filete de la figura 5.4 (página 198) no aplican a la acción de desbarbar de soldadura de espárragos temporizadas automáticamente, el cual es el método estándar para la soldadura de espárragos.

4.8.3. SUBSECCIÓN 7.5 TÉCNICA

Detalla los procedimientos para la soldadura de espárragos. Corriente continua en electrodo negativo es requerida, con los valores fijados de voltaje, corriente, tiempo y pistola de soldadura para la elevación y zambullido, óptimos. Los parámetros son típicamente basados en la experiencia pasada o en las recomendaciones del fabricante. Si dos o más pistolas están conectadas en una sola fuente de poder, deben estar inter-bloqueadas para prevenir soldaduras simultáneas.

El párrafo 7.5.3 requiere que la pistola de soldadura sea sostenida en su posición sin movimiento durante la soldadura. El párrafo 7.5.4 trata con los requerimientos de temperatura de metal base y temperatura ambiente, las

cuales son similares a las soldaduras en otros procesos. De todas formas, cuando la temperatura del metal base es menor a 32° F, un espárrago adicional por cada 100 debe ser probado según las provisiones de los sub párrafos 7.7.1.3 y 7.7.1.4, pero con un doblado limitado a los 15°. Como una opción del contratista, los procesos precalificados SMAW, GMAW o FCAW pueden ser usados, en cuyo caso la tabla 5.8 (página 194) tamaños de filetes generalmente aplica. La inspección visual debes ser según el párrafo 6.6.1.

4.8.4.SUBSECCIONES 7.6 CALIFICACIÓN DE LA APLICACIÓN DE ESPÁRRAGOS Y 7.7 CONTROL DE PRODUCCIÓN.

Proveen que en general, los espárragos que son aplicados en posición plana horizontal están considerados precalificados cuando el fabricante de los espárragos tiene una calificación para la base de los espárragos. Otras situaciones requieren una calificación específica, en cuyo caso los métodos fijados en los párrafos 7.6.2 a 7.6.6 deben ser observados.

Para una configuración dada, en el tamaño del espárrago, pruebas diarias de pre-producción son requeridas. Los espárragos probados deben mostrar un desbarbado de 360°, y estar bien doblados a 30°. Una vez que la producción empieza, cualquier cambio que exceda el 5% de la corriente o le tiempo requiere un re prueba, como se mencionó anteriormente. Estas pruebas también califican al operador de soldadura.

4.8.5.SUBSECCIÓN 7.8 REQUERIMIENTOS PARA INSPECCIÓN DE FABRICACIÓN Y VERIFICACIÓN.

Esta indica que si la inspección visual muestra un desbarbado menor a 360°, todos estos espárragos más cualquier espárrago que haya sido reparado deben ser doblados en un ángulo aproximado de 15°. En caso de espárragos roscados, cada espárrago debe ser probado por torque; ver la figura 7.3 (página 260). Si no se presenta ninguna falla, el espárrago es considerado aceptable. De otra manera, la reparación de los espárragos es requerida.

Si, a juicio del Ingeniero, se concluye que los espárragos no están soldados de conformidad con las provisiones de este código, acciones correctivas son requeridas. El contratista deberá hacer todos los cambios necesarios para corregir las no conformidades.

4.9. MÓDULO 8, AWS D1.1, SECCIÓN 8, REFUERZO Y REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS EXISTENTES

4.9.1. INTRODUCCIÓN

La sección 8 aplica solamente a las estructuras existentes. Las provisiones no aplican a la “fabricación original”. Como el título de la sección implica, esta especifica las provisiones para el fortalecimiento y/o la reparación de estructuras existentes. Esto no aplica a las reparaciones en el proceso de producción tal como se considera en la sección 5 de este código.

4.9.2. SUBSECCIÓN 8.2 METAL BASE

Requiere que el tipo de metal base sea establecido de los planos y especificaciones aplicables a la estructura original, o por pruebas actuales. Más allá, la conveniencia para la soldadura debe ser determinada por la tabla C8.1 (en la sección Comentarios página 474) que ha sido provista como guía. En el caso de que el metal base sea de otro tipo que no pertenezca a los listados en la tabla 3.1 (páginas 62 a 65) o el Anexo M (páginas 377 a 378), el Ingeniero debe tener una consideración especial para determinar el material de aporte a ser usado y los EPSs que sean aplicables.

4.9.3. SUBSECCIÓN 8.3. DISEÑO PARA REPARACIÓN Y REFUERZO

Esta detalla la manera en la cual el proceso de diseño debe ser llevado a cabo. Específicamente, es requerido que las cargas sean establecidas y la posibilidad de daño acumulado sea considerada. En particular, la historia de fatiga debe ser explorada o al menos estimada. Decisiones de reparar o reemplazar partes corroídas o de otra manera dañadas deben ser hechas. El uso de tornillos existentes también requiere consideración.

4.9.4. SUBSECCIÓN 8.4 MEJORA DE LA VIDA A FATIGA

Esta permite el uso de una o más de las 5 técnicas de mejora de la vida a fatiga especificadas, provistas por la aprobación del Ingeniero y respaldadas por procedimientos de aplicación escrito. El incremento resultante en el rango de esfuerzo debe ser establecido por el ingeniero.

Los comentarios en la sección 8 deben ser consultados cuando la mejora de la vida a fatiga es considerada, y particularmente si es implementada.

4.9.5.SUBSECCIÓN 8.5 TÉCNICA Y MANO DE OBRA.

Esta incluye las provisiones únicamente aplicables al trabajo de reparación. Para esta instancia, el metal base existente que vaya a estar en contacto con el nuevo material base debe ser limpiado y liberado de suciedad, óxido y materiales extraños. De todas formas, películas de pintura según SSPC SP2 (especificación para la adherencia de películas por resistencia con limpieza usando herramienta manual) puede permanecer. Todas las porciones de material base nuevo y viejo que vayan a recibir soldadura deben ser limpiadas por lo menos en 2 pulgadas a lo largo de la dirección de la raíz de la soldadura.

Si es requerido por el ingeniero, las discontinuidades existentes deben ser reparadas previo a la aplicación de calor para refuerzo o soldadura. Reparaciones de soldadura, cuando se requiera, deben ser hechas de acuerdo con las provisiones de la subsección 5.26. Cuatro alternativas están provistas en el caso de insuficiente espesor en el material base. La aplicación de calor cuando esté siendo usada para refuerzo, no debe exceder los límites fijados en cualquier parte de este código, tampoco se debe acelerar el enfriamiento que tiene lugar sobre los 600° F. La secuencia de soldadura y la de soldaduras debe ser resultado de un balance de entrada de calor alrededor del eje neutral con la visión de minimizar la distorsión y el encogimiento.

4.9.6.SUBSECCIÓN 8.6 CALIDAD.

En términos de calidad esta requiere que todos los miembros y soldaduras afectadas por el trabajo sean inspeccionados visualmente de acuerdo con los requerimientos del Ingeniero. Si END son requeridos, el método y la extensión de estos deben ser especificados en los documentos contractuales.

4.9.7.COMENTARIO FINAL

En adición a lo provisto, las reglas de la AWS D1.1 dan un panorama comprensivo de la construcción con acero, desde el diseño hasta la completación y reclamación. Como se nota en el texto del código, la existencia de una provisión particular no niega el ejercicio de un buen juicio ingenieril. Además, debe ser claramente entendido que el Ingeniero de registro, referido aquí como “el Ingeniero” tiene el derecho de variar provisiones específicas del código para cumplir situaciones o requerimientos específicos.

4.10.MÓDULO 9, AWS D1.1, ANEXOS, COMENTARIOS E INDICE

4.10.1. ANEXOS

4.10.1.1. Anexos mandatorios

Los anexos I a XII (páginas 265 a 310) contienen información y requerimientos que son considerados parte del código mismo y son por tanto Mandatorios en la aplicación de este código en práctica.

Los inspectores de soldadura en particular encontrarán muy útiles el Anexo IV (página 273). Este provee una lista de chequeo para la preparación y las pruebas de los procedimientos de soldadura. La tabla IV-1 lista los ítems, que si se cambian, pueden requerir recalificación. La mayoría de las Variables en el procedimiento de calificación derivan de las provisiones de la sección 4.

El Anexo XI es útil para otros metales que nos sean los listados en la tabla 3.1 o el Anexo M. Dos métodos están dados para determinar los requerimientos de precalentamiento: "Control de la dureza en ZAC", el cual es limitado a soldaduras de filete, y "Control de hidrógeno". La selección del método está basada en la razón entre Carbón y Carbón Equivalente. El último valor está derivado de la fórmula de la norma AWS:

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

Refiriéndose a la figura XI-1 (página 304) da una Zona de Clasificación, la cual determina el método a ser usado. El método de control de dureza usa la fórmula anterior CE. El método del control de hidrógeno usa un parámetro de composición Pcm calculado como en XI6.2.1 y un índice de susceptibilidad mostrado en la tabla XI-1 (página 302) para obtener una temperatura de precalentamiento y entre pases de la tabla XI-2.

4.10.2. ANEXOS NO MANDATORIOS

Los Anexos A hasta el O (páginas 311 a 386) son No Mandatorios, pero sin embargo proveen información útil en la aplicación del código, particularmente en situaciones de diseño e inspección. El Anexo E Formatos (página 333 a 344) y el Anexo H especificaciones para el contenido de procedimientos precalificados de soldadura (página 353) ambos dan información importante.

4.10.3. COMENTARIOS

Frecuente referencia ha sido hecha en este manual al material dado en la parte de Comentarios de este código.

Los inspectores de soldadura son frecuentemente encarados con el problema de explicar a un oyente renuente porqué ciertos ítems o actividades no están conformes con los requerimientos del código. En estricto sentido, ninguna explicación es necesaria. Esta actitud de todas maneras, plantea la pregunta que dónde una no conformidad debe ser detectada, una acción correctiva sola no es la respuesta completa. Prevenir la repetición igualmente importante porque hay siempre la posibilidad de que una no conformidad similar que nos sea detectada puede ocurrir en otra ocasión.

Los Comentarios del código dan explicación, ampliación y generalmente derraman luz sobre muchas de las provisiones de código. Incluso en la extensión de la satisfacción de sí mismo a lo racional de una provisión particular del código, los Comentarios son muy útiles.

En el final de cada sección de los Comentarios, una lista de referencias está dada. Estos documentos y papeles proveen una fuente de material sobre el cual los escritores del código han hecho sus decisiones. Cuando sea apropiado, hacer referencia a estos documentos puede ser también significativa.

4.10.4. ÍNDICE

La meta de los usuarios de AWS D1.1 (y de otros códigos o especificaciones, para el caso) no debe ser tratar de memorizar detalles, más bien es saber cómo extraer la información requerida del código al tiempo que está siendo utilizado.

El índice (páginas 487 a 498) de AWS D 1.1 es más comprensivo. Con 1600 entradas bien claras, este provee acceso fácil incluso a la más oscura provisión. La familiaridad con la terminología del código es de gran utilidad efectividad al momento de usar el índice.

CAPÍTULO 5

5.1.PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN DE VIGAS Y COLUMNAS TIPO I

5.1.1.INTRODUCCIÓN⁷

Generalmente los miembros estructurales más convenientes son aquellos con grandes momentos de inercia con relación a sus áreas. Los perfiles I, T y C tienen esta propiedad. La fabricación de estos perfiles se la puede realizar a través de laminación en caliente o por soldadura de placas, estas dos formas son las más comunes para la elaboración de perfiles estructurales, sin embargo en el país no se cuenta con una fábrica de perfiles por laminación en caliente. Esto puede deberse a el gran costo que implicaría hacer funcionar una planta de este tipo, comparado con el costo relativamente bajo de fabricar perfiles por soldadura.

En el presente documento se ha mencionado el caso general de los perfiles tipo I, sin embargo los perfiles I existentes se clasifican en 2 tipos, estos pueden ser perfiles tipo S o estándar americanos, los perfiles tipo W y los perfiles tipo H (similares a los perfiles tipo I pero con almas más robustas), la diferencia de estos dos tipos de perfiles(S y W) reside en la pendiente que sus patines poseen, esto se ilustra en la figura 5.1.

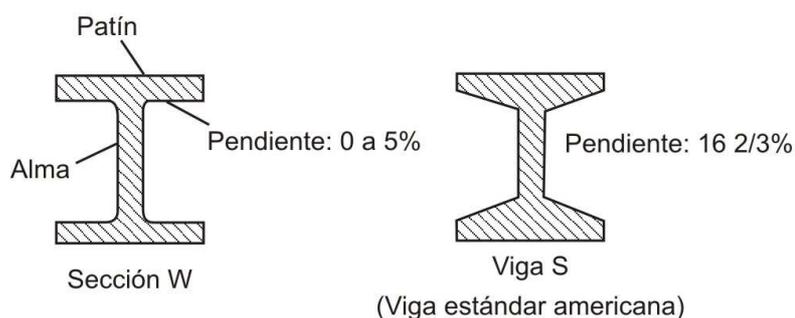


Figura 5.1. Perfiles tipo W y tipo S.

Las ventajas de los perfiles tipo W sobre los S, entre las siguientes son:

- Facilidad de construcción por soldadura.

⁷ [Diseño de Estructuras Metálicas, McCormac]

- Facilidad de las conexiones entre perfiles por sus espesores constantes o casi constantes.
- Son más rígidas que las secciones S con el mismo peso por unidad de longitud.

Es por esto que en el presente capítulo se describe todo el procedimiento tecnificado para la fabricación de perfiles tipo W (referidos como perfiles tipo I) por medio de soldadura, desde la entrada de material base en forma de platinas o planchas hasta la pintura y entrega del producto terminado listo para ensamblaje, pasando por una etapa de inspección y control de calidad, todo esto bajo la norma de soldadura AWS D1.1.

5.2.MATERIAL BASE

El material base usado principalmente para la fabricación de vigas y columnas estructurales es el acero. El acero es una material que contiene principalmente hierro, en cantidades superiores al 98%, aleado con pequeñas cantidades de carbono (como aleante principal), silicio, manganeso, azufre, fósforo, cromo y otros elementos. La dureza y resistencia aumentan con el porcentaje de carbono pero de manera adversa el acero resultante es más frágil y su soldabilidad disminuye, con una menor cantidad de carbono el acero resultante será más suave y dúctil pero más débil también. La adición de cromo, silicio y níquel en el acero, lo hace mucho más resistente pero también encarece su precio por la dificultad de fabricación.

5.2.1.ACEROS ESTRUCTURALES⁸

Los aceros estructurales usados para la fabricación de elementos estructurales son aceros aleados, es decir, aceros que tienen en su composición química pequeñas cantidades de elementos aleantes además del carbono como el cromo, silicio, manganeso, níquel y cobre, que mejoran notablemente sus propiedades mecánicas y su soldabilidad.

La ASTM (American Society of Testing Materials) ha agrupado a los aceros estructurales en varios grupos:

- Aceros de propósito general (A36)

⁸ [Diseño de Estructuras Metálicas, McCormac]

- Aceros estructurales al carbono (A529)
- Aceros estructurales de alta resistencia y baja aleación (A441 y A572)
- Aceros estructurales de alta resistencia, baja aleación y resistentes a la corrosión atmosférica (A242 y A588)
- Placa de acero templada y revenida (A514 y A852)

5.2.1.1. Aceros al carbono

Este tipo de aceros tienen principalmente como elementos aleantes al carbono y al manganeso. Las cantidades máximas en la composición química de estos aceros es: 1.7% de carbono, 1.65% de manganeso, 0.6% de silicio y 0.6% de cobre.

El acero A36 que posee un esfuerzo a la fluencia de 36 klb/plg² es adecuado para puentes y edificios atornillados, soldados o remachados.

5.2.1.2. Aceros de alta resistencia y baja aleación

Se los llama de baja aleación debido a que sus aleantes no exceden en suma al 5% de la composición total. Estos obtienen sus altas resistencias y otras propiedades por la adición, a parte del carbono y manganeso, de elementos como el columbio, cromo, silicio, cobre, níquel y otros. Poseen resistencias a la fluencia entre 40 y 70 klb/plg² y son más resistentes a la corrosión que los aceros al carbono.

5.2.1.3. Aceros estructurales de alta resistencia, baja aleación y resistentes a la corrosión

Para la obtención de estos aceros se les agrega pequeñas cantidades de cobre, esto hace que su óxido (pátina) se vuelva más estable e impermeable impidiendo una mayor oxidación, de esta manera se elimina la necesidad de pintar los miembros hechos con este tipo de aceros. Este proceso tarda de 18 meses a 3 años, dependiendo del tipo de ambiente al que esté expuesto el acero, después de este tiempo el acero adquiere un color que va del rojo oscuro al café negro.

Este acero es muy útil en lugares difíciles de pintar o para miembros expuestos, pero no se lo recomienda para condiciones de extrema sequedad,

brisas marinas o humos industriales corrosivos pues necesitan estar sujetos a ciclos de humedad y resequedad para que el óxido o pátina se forme.

5.2.1.4. Aceros templados y revenidos

Estos aceros tienen aleantes en exceso en comparación con los aceros al carbono normales, además son tratados térmicamente (templados y revenidos) para darles dureza y resistencia con fluencias entre 70 y 110 klb/plg^2 . Estos aceros no muestran puntos bien definidos de fluencia como los aceros al carbono o los de alta resistencia y baja aleación.

En la figura 5.2 a continuación, se muestran una serie de curvas de esfuerzo - deformación para los tres principales tipos de aceros descritos anteriormente.

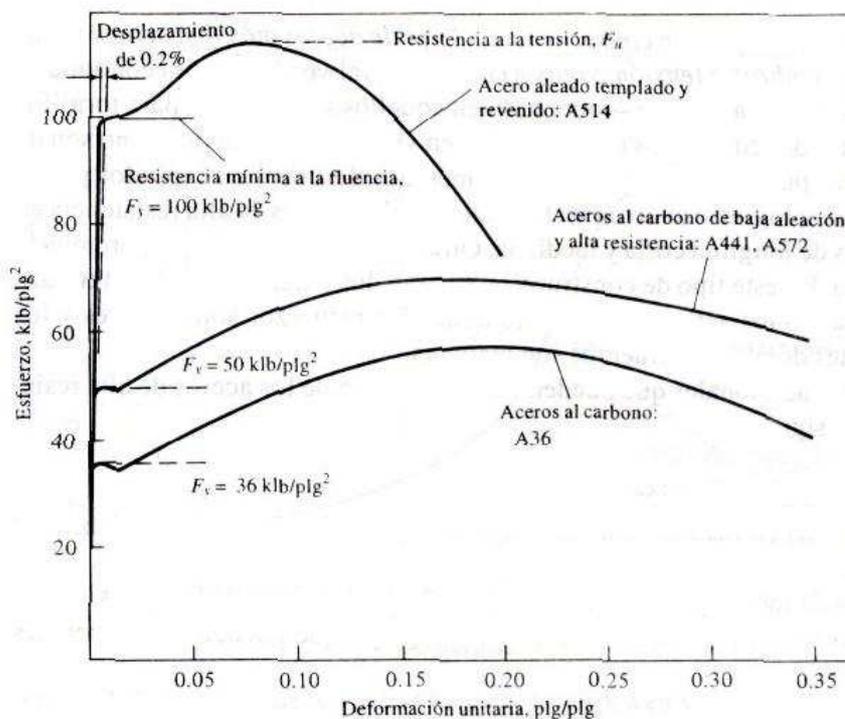


Figura 5.2. Curvas de esfuerzo deformación.

5.2.2. CONTROL DE CALIDAD

Una vez seleccionado el material base de acuerdo a las necesidades del cliente, se procederá a su compra. El proveedor del acero tiene la obligación de entregar dicho material con sus respectivos certificados de calidad donde se indicará el tipo de material, la presentación de este (ya sea en planchas o flejes), el número de colada del cual proviene, las propiedades químicas y las

propiedades mecánicas del material. Toda esta información debe ser susceptible de verificación y más aún si se tiene una duda razonable de su procedencia.

De existir dudas sobre el material se debe realizar una prueba mecánica de tracción para verificar algunas de sus propiedades mecánicas, esta prueba revelará el límite de fluencia y el límite último de rotura. Cuando el resultado de estas pruebas no es satisfactorio, en lugar de la prueba de tracción o conjuntamente con esta se puede realizar un análisis químico de los elementos aleantes que constituyen el acero, de esta forma se puede saber si el acero comprado corresponde al tipo de acero descrito en el certificado de calidad o si no se ha entregado dicho certificado, se puede saber qué tipo de acero es comparándolo en la Parte A de de la norma ASME Sección II, Especificaciones Para Materiales Ferrosos.

5.3 MATERIAL DE APORTE

El material de aporte debe ser compatible con el material base que se esté utilizando en el proceso de fabricación, y se lo debe escoger de acuerdo al proceso de soldadura que se haya seleccionado para soldar los elementos a fabricar.

En el mercado existen muchos tipos y variedades de material de aporte, se debe ser cuidadoso a la hora de escoger un tipo u otro. El criterio principal, como se mencionó, debe ser la compatibilidad del material base con el material de aporte y los requerimientos que este debe cumplir, para esto se puede utilizar la tabla 3.1 de combinación de materiales base y de aporte precalificados para su uso mostrada en la norma AWS D1.1 (Anexo 5), en esta tabla se listan una cantidad de materiales base utilizados en la construcción de estructuras y los respectivos materiales de aporte compatibles con estos de acuerdo a un proceso determinado de soldadura.

Otros criterios que deben ser tomados en cuenta son por ejemplo, el costo del material de aporte, su disponibilidad en el mercado nacional, su rendimiento, velocidad de deposición, dimensiones de la sección a soldar, tipo de corriente que se vaya a usar, posiciones de soldadura, tipo de unión y facilidad de fijación de la pieza, etc.

5.3.1. CONTROL DE CALIDAD

Al igual que ocurre con el material base, los proveedores del material de aporte están obligados a entregar los respectivos certificados de calidad junto con sus productos. Estos certificados contienen información como la composición química del material depositado, propiedades mecánicas del material depositado, lote, fecha de elaboración, además de propiedades eléctricas y de composición química del revestimiento del electrodo si lo tuviere, almacenamiento, aunque cabe mencionar que esta información también se encuentra disponible en los catálogos de los materiales de aporte.

Se debe disponer también de los certificados de calidad de todos los consumibles de soldadura, estos variarán de acuerdo al proceso de soldadura que se esté usando, como por ejemplo gases utilizados, fundente, etc.

A existir una duda de la procedencia o veracidad de estos certificados o de no existir los mismos, se procederá de manera similar que con el material base, es decir, se pueden realizar pruebas mecánicas o químicas del material de aporte depositado para verificar sus propiedades mecánicas y sus componentes químicos. Para la realización de estas pruebas se debe tener cuidado de seguir las recomendaciones hechas por el fabricante al momento de realizar la deposición del material.

5.4 PROCESOS DE SOLDADURA⁹

5.4.1. CONCEPTO DE SOLDADURA

La soldadura está definida como la unión permanente de 2 o más piezas metálicas mediante la adición de calor, con o sin material de aporte y/o presión. Para este efecto se han desarrollado muchos métodos de soldadura, estos varían de acuerdo a la forma en la que se produce el calor aportado a la soldadura y si existe o no la presencia de presión.

Para el caso de la soldadura de vigas y columnas para estructuras, se utilizan principalmente los procesos que utilizan el arco eléctrico como medio para producir el calor necesario para fundir el material que va a ser unido. Entre los principales procesos usados en el país están:

⁹ [Manual de Soldadura, Indura]

5.4.2.SOLDADURA POR ARCO MANUAL

El sistema de soldadura Arco Manual conocido como SMAW por sus siglas en inglés, se define como el proceso en que se unen dos metales mediante una fusión localizada, producida por un arco eléctrico entre un electrodo metálico y el metal base que se desea unir.

La soldadura por arco se conoce desde fines del siglo pasado. En esa época se utilizaba una varilla metálica descubierta que servía de metal de aporte.

Pronto se descubrió que el oxígeno y el nitrógeno de la atmósfera eran causantes de fragilidad y poros en el metal soldado, por lo que al núcleo metálico se le agregó un revestimiento que al quemarse se gasificaba, actuando como atmósfera protectora, a la vez que contribuía a mejorar notablemente otros aspectos del proceso.

El electrodo consiste en un núcleo o varilla metálica, rodeado por una capa de revestimiento, donde el núcleo es transferido hacia el metal base a través de una zona eléctrica generada por la corriente de soldadura.

El revestimiento del electrodo, que determina las características mecánicas y químicas de la unión, está constituido por un conjunto de componentes minerales y orgánicos que cumplen las siguientes funciones:

1. Producir gases protectores para evitar la contaminación atmosférica y gases ionizantes para dirigir y mantener el arco.
2. Producir escoria para proteger el metal ya depositado hasta su solidificación.
3. Suministrar materiales desoxidantes, elementos de aleación e hierro en polvo.

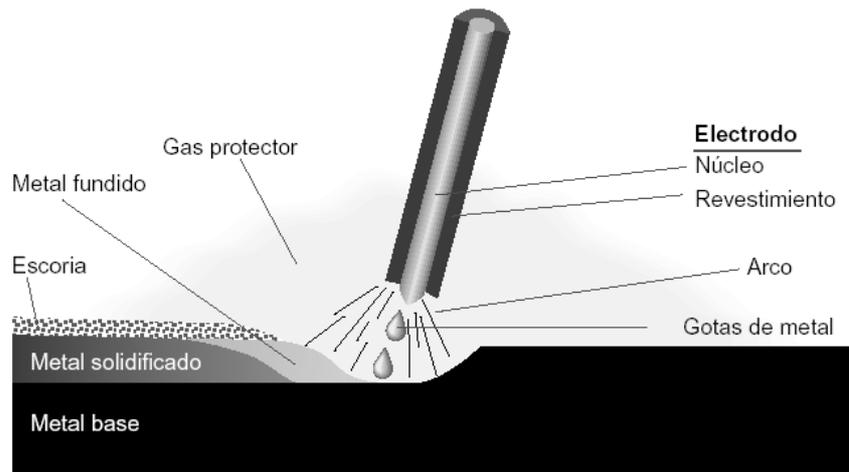


Figura 5.3. Esquema de la soldadura por arco manual.

5.4.3. SOLDADURA POR ARCO CON ALAMBRE CONTINUO Y PROTECCIÓN GASEOSA

El sistema conocido también como GMAW por sus siglas en inglés fue introducido a fines del año 1940. El proceso es definido por la AWS como un proceso de soldadura al arco, donde la fusión se produce por calentamiento con un arco entre un electrodo de metal de aporte continuo y la pieza, donde la protección del arco se obtiene de un gas suministrado en forma externa, el cual protege el metal líquido de la contaminación atmosférica y ayuda a estabilizar el arco.

La ilustración siguiente indica esquemáticamente una soldadura por sistema GMAW:

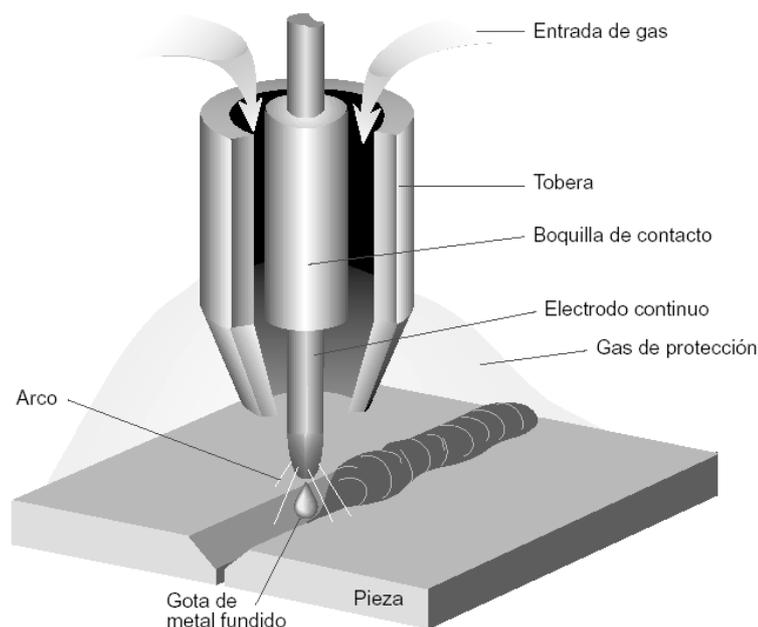


Figura 5.4. Esquema de la soldadura por arco con alambre continuo y protección gaseosa

En el proceso GMAW, un sistema de alimentación impulsa en forma automática y a velocidad predeterminada el alambre-electrodo hacia el trabajo o baño de fusión, mientras la pistola de soldadura se posiciona a un ángulo adecuado y se mantiene una distancia tobera-pieza, generalmente conocida como Stick-out.

El sistema GMAW posee cualidades importantes al soldar aceros, entre las que sobresalen:

1. El arco siempre es visible para el operador.
2. La pistola y los cables de soldadura son ligeros, haciendo muy fácil su manipulación.
3. Es uno de los más versátiles entre todos los sistemas de soldadura.
4. Rapidez de deposición.
5. Alto rendimiento.
6. Posibilidad de automatización.

5.4.3.1. Tipos de transferencia en GMAW

El voltaje, amperaje y tipo de gas de protección, determinan la manera en la cual se transfiere el metal desde el alambre-electrodo al baño de soldadura.

En soldadura GMAW, las gotas de metal fundido son transferidas a través del arco, desde un alambre-electrodo alimentado continuamente, a la zona de soldadura.

Para un diámetro dado de electrodo (d), con una protección gaseosa, la cantidad de corriente determina el tamaño de las gotas (D) y el número de ellas que son separadas desde el electrodo por unidad de tiempo:

Zona A: A valores bajos de amperaje, las gotas crecen a un diámetro que es varias veces el diámetro del electrodo antes que éstas se separen. La velocidad de transferencia a bajos amperajes es sólo de varias gotas por segundo.

Zona B: A valores intermedios de amperaje, el tamaño de las gotas separadas decrece rápidamente a un tamaño que es igual o menor que el diámetro del electrodo, y la velocidad de separación aumenta a varios cientos por segundo.

Zona C: A valores altos de amperaje, la velocidad de separación aumenta a medida que se incrementa la corriente, las gotas son bastante pequeñas. Existen tres formas de transferencia metálica:

- Transferencia “Spray” o de Rocío.
- Transferencia “Globular”.
- Transferencia en “Corto-Circuito”.

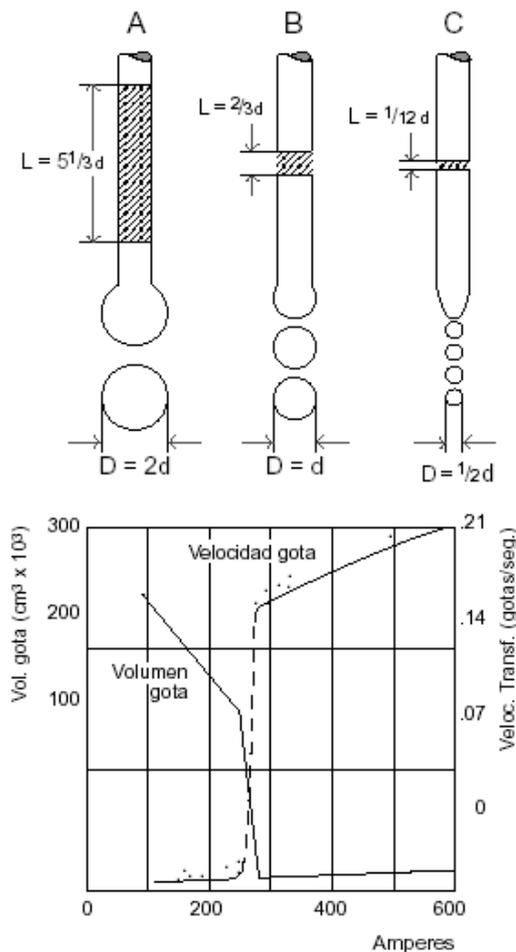


Figura 5.5. Transferencia metálica

5.4.3.1.1. Transferencia por Spray

El metal es transportado a alta velocidad en partículas muy finas a través del arco. La fuerza electromagnética es bastante fuerte para expulsar las gotas

desde la punta del electrodo en forma lineal con el eje del electrodo, sin importar la dirección a la cual el electrodo está apuntando. Se tiene transferencia Spray al soldar, con Argón y altos valores de amperaje.

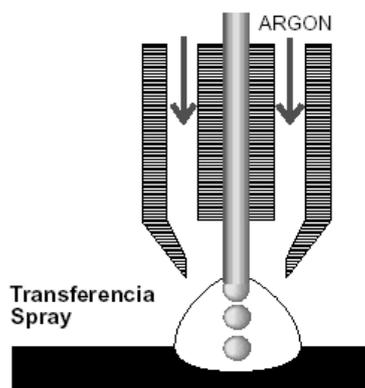


Figura 5.6. Modo de transferencia por Spray

5.4.3.1.2. *Transferencia Globular*

El metal se transfiere en gotas de gran tamaño. La separación de las gotas ocurre cuando el peso de éstas excede la tensión superficial que tiende a sujetarlas en la punta del electrodo. La fuerza electromagnética que actuaría en una dirección para separar la gota, es pequeña en relación a la fuerza de gravedad en el rango de transferencia globular (sobre 250 Amps.) La transferencia globular se utiliza para soldar acero dulce en espesores mayores a 1/2" (12,7 mm.), en que se requiere gran penetración.

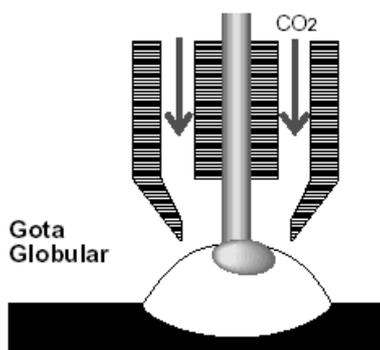


Figura 5.7. Modo de transferencia Globular

5.4.3.1.3. *Transferencia por Corto Circuito*

El metal no es transferido libremente a través del arco, sino que se deposita, cuando la punta del electrodo toca el metal base. Los cortos circuitos producidos por el contacto del electrodo con el baño fundido, ocurren con mucha regularidad, hasta 200 o más veces por segundo. El resultado final es

un arco muy estable usando baja energía (inferior a 250 Amps.) y bajo calor. El bajo calor reduce a un mínimo la distorsión, deformación del metal y otros efectos metalúrgicos perjudiciales. Esta transferencia metálica se obtiene en presencia de dióxido de carbono (CO₂) o una mezcla (Ar-CO₂).

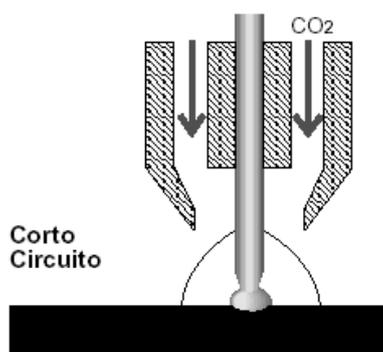


Figura 5.8. Modo de transferencia por Corto Circuito

La figura inferior ilustra, por medio de trazos oscilográficos, la secuencia del voltaje y de la corriente durante un ciclo típico de soldadura por corto circuito.

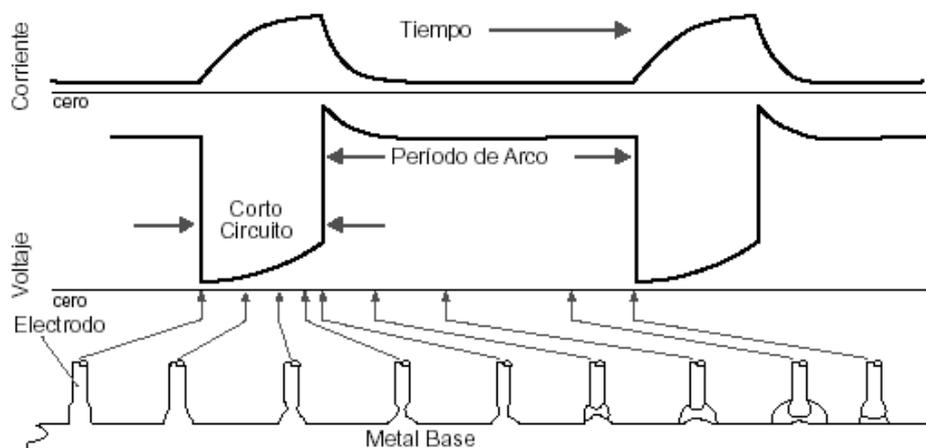


Figura 5.9. Ciclo eléctrico en la transferencia por Corto Circuito

5.4.3.2. Protección gaseosa en GMAW

El propósito principal del gas de protección es desplazar el aire en la zona de soldadura y así evitar su contaminación por nitrógeno, oxígeno y vapor de agua. Estas impurezas afectan las propiedades del metal de soldadura.

Gases inertes y activos se emplean en el sistema MIG. Cuando se desea soldar metales no ferrosos, se emplea gases inertes debido a que ellos no reaccionan con los metales. Los gases inertes usados en sistema MIG son: Argón, Helio y mezclas de Argón-Helio. Sin embargo, en la soldadura de metales ferrosos se puede emplear gases inertes o activos. Gases activos como: Dióxido de Carbono, Mezclas de Dióxido de Carbono, o gases

protectores que contienen algún porcentaje de Oxígeno. Estos gases no son químicamente inertes y pueden formar compuestos con los metales.

Hay varios factores que es necesario considerar al determinar el tipo de gas de protección a emplear. Estos son:

1. Tipo de metal base.
2. Características del arco y tipo de transferencia metálica.
3. Velocidad de soldadura.
4. Tendencia a provocar socavaciones.
5. Penetración, ancho y forma del depósito de soldadura.
6. Disponibilidad.
7. Costo del gas.
8. Requerimientos de propiedades mecánicas.

5.4.4. SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO DE TUNGSTENO Y PROTECCIÓN GASEOSA

La soldadura al Arco con Electrodo de Tungsteno y Protección Gaseosa GTAW por sus siglas en inglés es un sistema de soldadura al arco con protección gaseosa, que utiliza el intenso calor de un arco eléctrico generado entre un electrodo de tungsteno no consumible y la pieza a soldar, donde puede o no utilizarse metal de aporte.

Se utiliza un gas de protección cuyo objetivo es desplazar el aire, para eliminar la posibilidad de contaminación de la soldadura por el oxígeno y nitrógeno presentes en la atmósfera. Como gas protector se puede emplear Argón o Helio, o una mezcla de ambos.

La característica más importante que ofrece este sistema es entregar alta calidad de soldadura en todos los metales, incluyendo aquellos difíciles de soldar, como también para soldar metales de espesores delgados y para depositar cordones de raíz en unión de cañerías.

Las soldaduras hechas con este sistema son más fuertes, más resistentes a la corrosión y más dúctiles que las realizadas con electrodos convencionales. Cuando se necesita alta calidad y mayores requerimientos de terminación, se

hace necesario utilizar el sistema GTAW para lograr soldaduras homogéneas, de buena apariencia y con un acabado completamente liso.

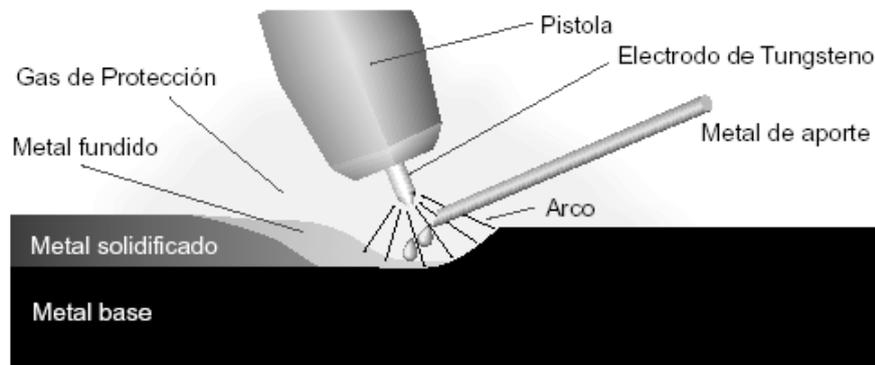


Figura 5.10. Esquema de la soldadura por arco con electrodo de tungsteno y protección gaseosa

Entre las ventajas que se tiene con este proceso de soldadura están:

- No se requiere de fundente, y no hay necesidad de limpieza posterior en la soldadura.
- No hay salpicadura, chispas ni emanaciones, al no circular metal de aporte a través del arco.
- Brinda soldaduras de alta calidad en todas las posiciones, sin distorsión.
- Al igual que todos los sistemas de soldadura con protección gaseosa, el área de soldadura es claramente visible.
- El sistema puede ser automatizado, controlando mecánicamente la pistola y/o el metal de aporte.

5.4.5. SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO

Es un proceso automático, en el cual, como lo indica la figura, un alambre desnudo es alimentado hacia la pieza. Este proceso se caracteriza porque el arco se mantiene sumergido en una masa de fundente, provisto desde una tolva, que se desplaza delante del electrodo.

De esta manera el arco resulta invisible, lo que constituye una ventaja, pues evita el empleo de elementos de protección contra la radiación infrarrojo y ultravioleta, que son imprescindibles en otros casos.

Las corrientes utilizadas en este proceso varían en un rango que va desde los 200 hasta los 2000 amperes, y los espesores que es posible soldar varían entre 5 mm y hasta más de 40 mm.

Usualmente se utiliza corriente continua con electrodo positivo, cuando se trata de intensidades inferiores a los 1000 amperes, reservándose el uso de corriente alterna para intensidades mayores, a fin de evitar el fenómeno conocido como soplo magnético.

El proceso se caracteriza por sus elevados regímenes de deposición y es normalmente empleado cuando se trata de soldar grandes espesores de acero al carbono o de baja aleación.

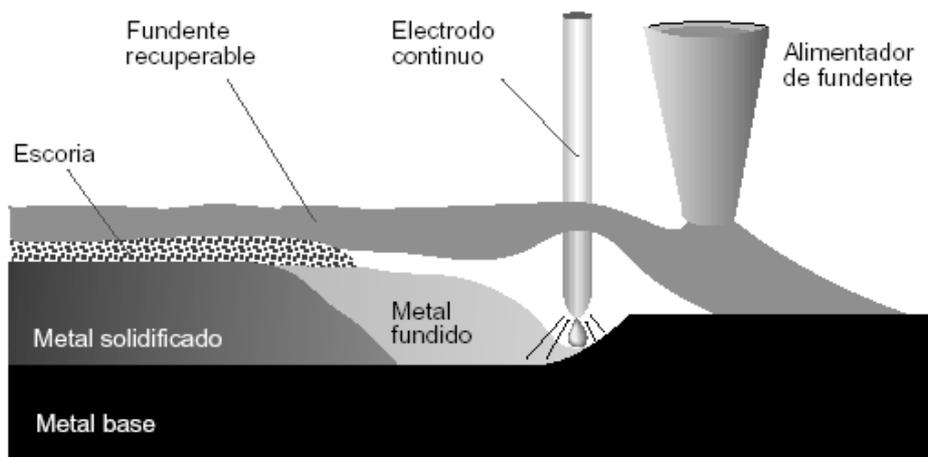


Figura 5.11. Esquema de la soldadura por arco sumergido.

Entre las ventajas que se tiene con este proceso de soldadura están:

- Alta velocidad y rendimiento: con electrodos de 5/32" y 3/16" a 800 y 1000 Amperes, se logra depositar hasta 15 kg. de soldadura por hora. Con electrodos de 1/4" y 1300 amperes, se depositan hasta 24 kg. por hora (tres a cuatro veces más rápido que en la soldadura manual).
- Propiedades de la soldadura: Este proceso permite obtener depósitos de propiedades comparables o superiores a las del metal base.
- Rendimiento: 100%
- Soldaduras 100% radiográficas.

- Soldaduras homogéneas.
- Soldaduras de buen aspecto y penetración uniforme.
- No se requieren protecciones especiales.

5.4.6.SOLDADURA POR ARCO CON NÚCLEO DE FUNDENTE

La soldadura por arco con núcleo de fundente conocida como FCAW por sus siglas en inglés, es un proceso de soldadura por arco que aprovecha un arco entre un electrodo continuo de metal de aporte y el charco de soldadura. Este proceso se emplea con protección de un fundente contenido dentro del electrodo tubular, con o sin un escudo adicional de gas de procedencia externa, y sin aplicación de presión.

El aspecto que distingue al proceso FCAW de otros procesos de soldadura por arco es la inclusión de ingredientes fundentes dentro de un electrodo de alimentación continua.

El proceso FCAW tiene dos variaciones principales que difieren en su método de protección del arco y del charco de soldadura contra la contaminación por gases atmosféricos (oxígeno y nitrógeno). Una de ellas, la FCAW con autoprotección, protege el metal fundido mediante la descomposición y vaporización del núcleo de fundente en el calor del arco. El otro tipo, la FCAW con escudo de gas, utiliza un flujo de gas protector además de la acción del núcleo de fundente. En ambos métodos, el material del núcleo del electrodo proporciona una cubierta de escoria sustancial que protege el metal de soldadura durante su solidificación.

Los beneficios de FCAW se obtienen al combinarse tres características generales:

- La productividad de La soldadura de alambre contiguo.
- Las cualidades metalúrgicas que pueden derivarse de un fundente.
- Una escoria que sustenta y moldea La franja de soldadura.

El proceso FCAW combina características de la soldadura por arco de metal protegido (SMAW), la soldadura por arco de metal y gas (GMAW) y la soldadura por arco sumergido (SAW).

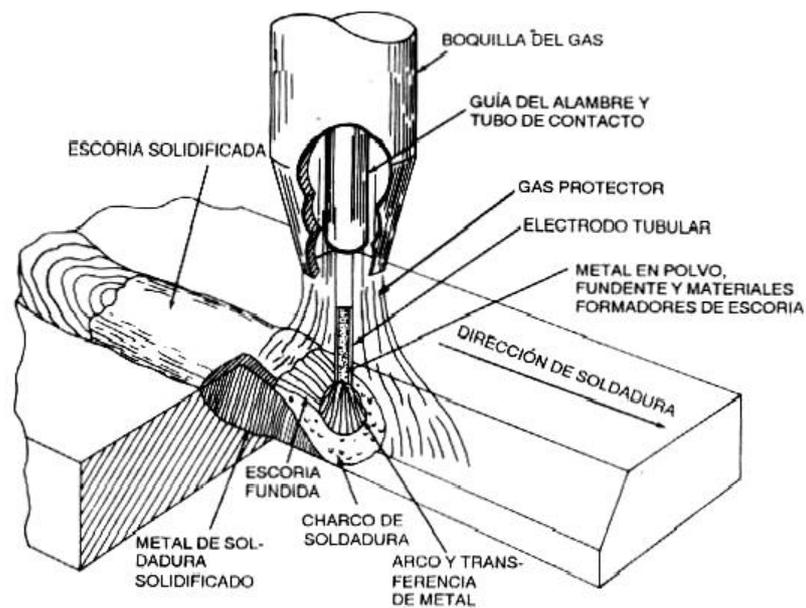


Figura 5.12. Esquema de la soldadura por arco con núcleo de fundente.

5.5 ARMADO DE PERFILES

El material base entregado para la elaboración de perfiles tipo I suele venir en flejes de acero o en planchas de gran tamaño, ambos en diferentes espesores de acuerdo a la necesidad de construcción. De acuerdo a las especificaciones de diseño, ciertos tamaños de flejes pueden ajustarse sin la necesidad de hacer modificaciones en su tamaño, de no haber el tamaño adecuado, se puede obtener las partes del perfil de planchas de acero de gran tamaño, de dónde se pueden cortar a la medida necesaria, hoy en día algunos de los proveedores de este tipo de material brindan el servicio de corte sin costo adicional.

Para la realización de cortes en planchas de acero los 2 métodos más comunes son el corte por Plasma y el corte con Oxi – Acetileno.

5.5.1. CORTE POR PLASMA

El fundamento del corte por plasma se basa en elevar la temperatura del material a cortar de una forma muy localizada y por encima de los 30.000 °C, llevando el material hasta el cuarto estado de la materia, el plasma, estado en el que los electrones se disocian del átomo.

El procedimiento consiste en provocar un arco eléctrico estrangulado a través de la sección de la boquilla del soplete, sumamente pequeña, lo que concentra extraordinariamente la energía cinética del gas empleado,

ionizándolo, y por polaridad adquiere la propiedad de cortar. La ventaja principal de este sistema radica en su reducido riesgo de deformaciones debido a la compactación calorífica de la zona de corte. También es valorable la economía de los gases aplicables, ya que a priori es viable cualquiera, si bien es cierto que no debe de atacar al electrodo ni a la pieza.

El equipo necesario para aportar esta energía consiste en un generador de alta frecuencia alimentado de energía eléctrica, gas para generar la llama de calentamiento (argón, hidrógeno, nitrógeno), y un porta electrodos, que dependiendo del gas puede ser de tungsteno, hafnio o circonio.

5.5.2. CORTE POR OXI – ACETILENO

El oxicorte es una técnica auxiliar a la soldadura, que se utiliza para la preparación de los bordes de las piezas a soldar cuando son de espesor considerable, y para realizar el corte de chapas, barras de acero al carbono de baja aleación u otros elementos ferrosos.

El oxicorte consta de dos etapas: en la primera, el acero se calienta a alta temperatura (900°C) con la llama producida por el oxígeno y un gas combustible; en la segunda, una corriente de oxígeno corta el metal y remueve los óxidos de hierro producidos.

En este proceso se utiliza un gas combustible cualquiera (acetileno, hidrógeno, propano, hulla, tetreno o crileno), cuyo efecto es producir una llama para calentar el material, mientras que como gas comburente siempre ha de utilizarse oxígeno a fin de causar la oxidación necesaria para el proceso de corte.

Bien sea en una única cabeza o por separado, todo soplete cortador requiere de dos conductos: uno por el que circule el gas de la llama calefactora (acetileno u otro) y uno para el corte (oxígeno). El soplete de oxicorte calienta el acero con su llama carburante, y a la apertura de la válvula de oxígeno provoca una reacción con el hierro de la zona afectada que lo transforma en óxido férrico (Fe_2O_3), que se derrite en forma de chispas al ser su temperatura de fusión inferior a la del acero.

El proceso de oxicorte, al contrario de lo que pueda parecer, no consiste en una fusión del metal, el corte se produce por una literal combustión del mismo.

En otras palabras al cortar quemamos el metal a medida que avanzamos con el soplete. Por esta razón, la presencia de aleantes se hace crítica, ya que merman la capacidad del acero a ser quemado.

También existen otros procesos de corte como el chorro mecanizado, el corte por laser o el corte por chorro de electrones, siendo mucho más utilizados por su aplicabilidad y costo los procesos de corte oxi – acetileno y plasma. Todos estos procesos, excepto el corte por chorro mecanizado, son producidos por calor y afectan térmicamente al material a cortarse.

Para el proceso de fabricación de vigas y columnas se escogió el proceso de corte por plasma sobre el oxi – acetileno debido principalmente a:

- Tipos de materiales a cortar.
- Calidad de corte.
- Productividad.
- Costo de inversión.
- Costo por metro cortado.
- Aplicación del material cortado.
- Automatización de proceso.
- Otros (Seguridad, Medio Ambiente,.....)

Estos mismos métodos empleados para el corte se pueden usar para biselar las partes constitutivas de las vigas y columnas, tomando en cuenta que siempre es necesario el hacer una corrección final con amoladora. Entre los tipos de juntas y soldaduras según su tipo de bisel se tiene los siguientes:

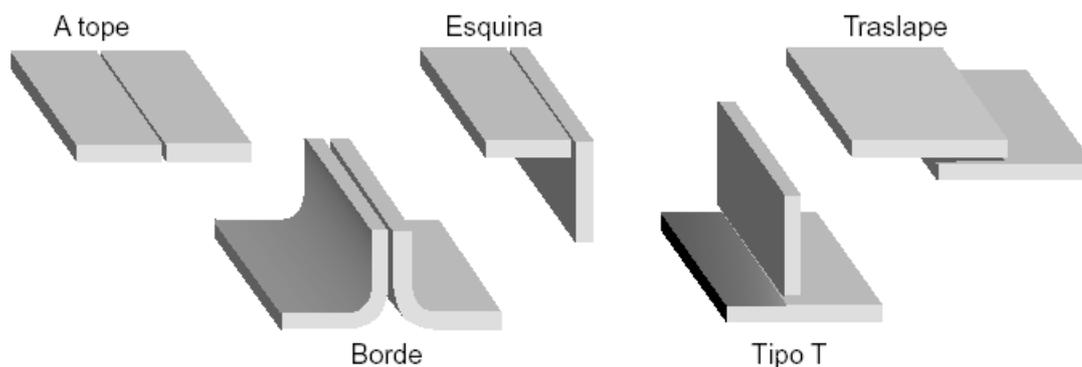


Figura 5.13. Tipos de juntas.

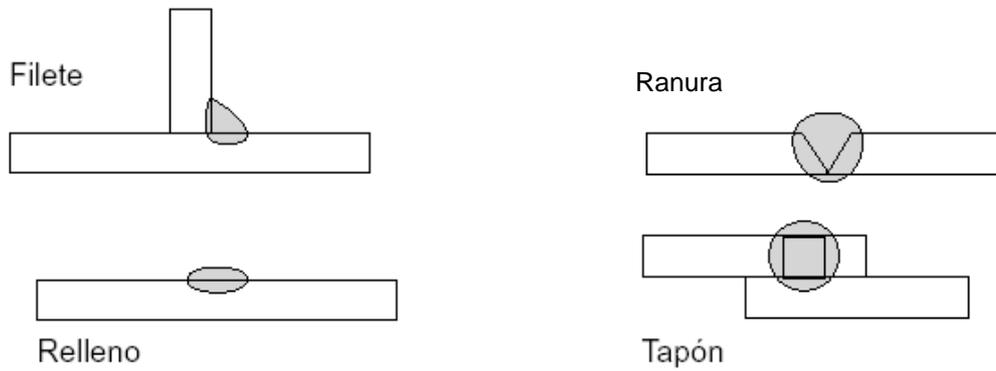


Figura 5.14. Tipos de soldadura.

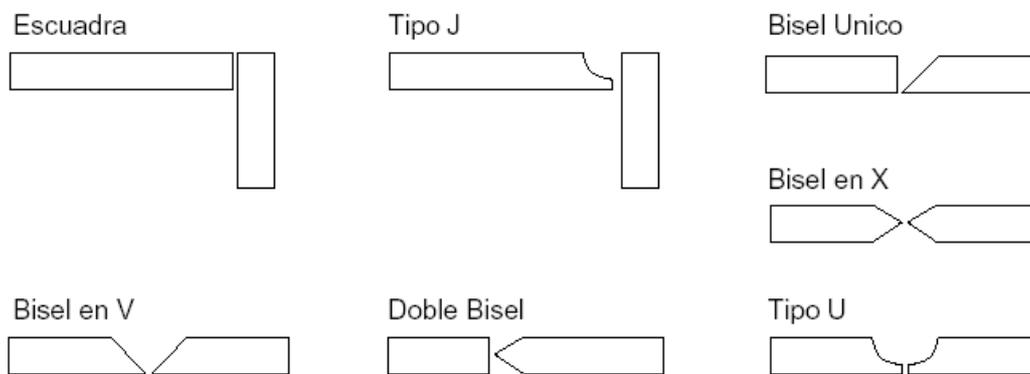


Figura 5.15. Tipos de bisel.

5.5.3. SIMBOLOGÍA

Se hace necesario el utilizar un método para representar de una manera simple y completa todos estos tipos de juntas soldaduras y biseles, la AWS prevé el uso de simbología de soldadura para este fin. A continuación se muestra un cuadro resumiendo la simbología usada en soldadura según AWS.

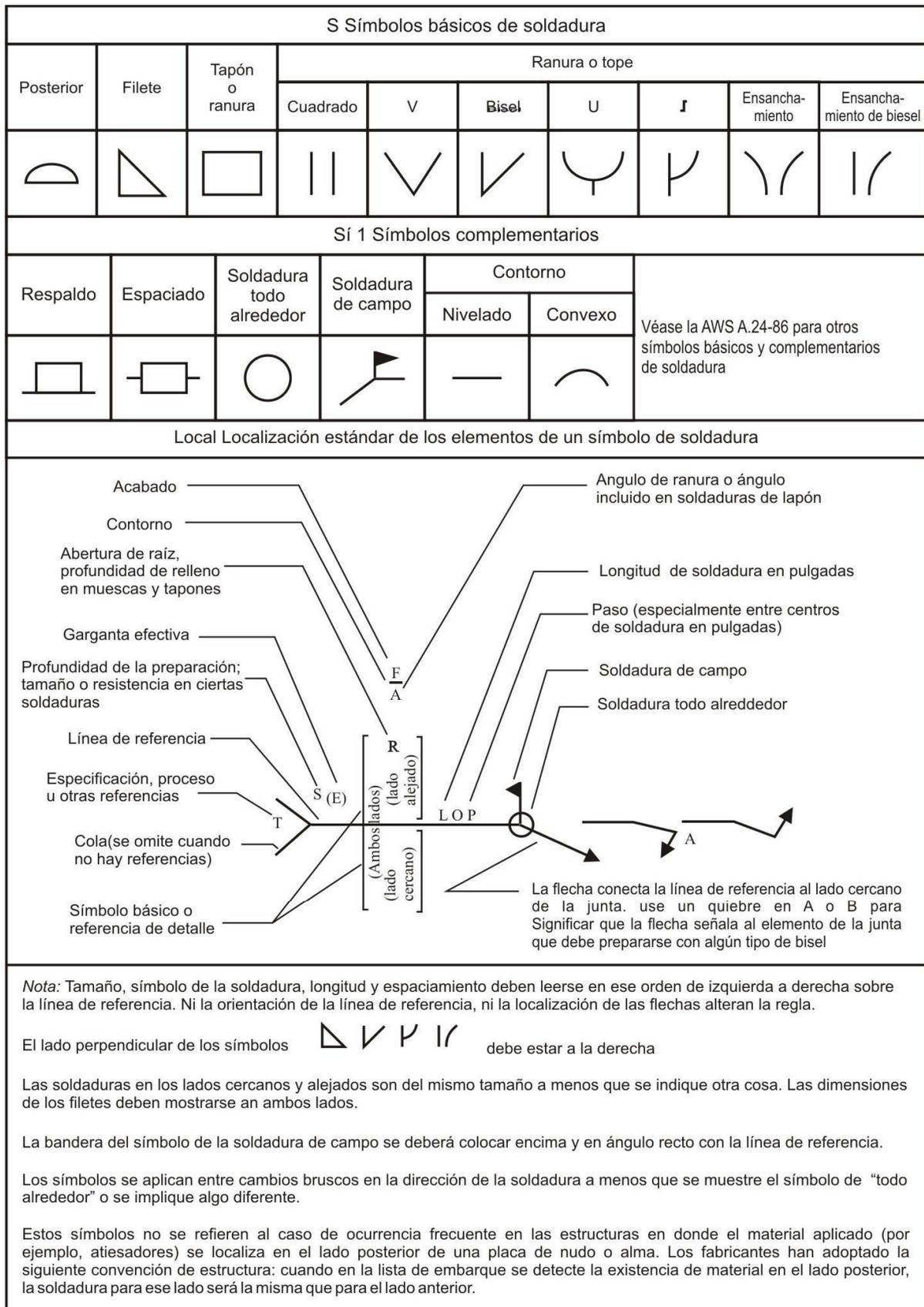


Figura 5.16. Simbología de soldadura

5.6 ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Conocido por sus siglas en inglés como WPS (Welding Procedure Specification) este es un documento donde deben constar todas las variables de soldadura necesarias de forma que sirva como una guía completa y sencilla para que el soldador pueda ajustar todos los parámetros de soldadura sin dejar nada a la libre interpretación.

Para que un EPS sea considerado aceptable, este debe ser calificado. La calificación consiste en ciertas pruebas que se realizan a la junta soldada y que se detallan en la norma que se esté utilizando, en este caso en la sección 4 del código AWS D1.1. Los resultados de todas las pruebas exigidas se colocan en otro formato llamado Registro de Calificación del Procedimiento, del cual se hablará posteriormente. Sin embargo en la norma para soldadura de estructuras existe la posibilidad de utilizar EPSs precalificados, basados en amplios años de experiencia de profesionales en la rama de la soldadura.

Si se opta por utilizar un EPS precalificados ya no son necesarias las pruebas y ensayos sin embargo este procedimiento debe cumplir a cabalidad todos los requerimientos y limitaciones descritas en la sección 3 del código mencionado y ser realizado por un soldado calificado de acuerdo a la sección 4 del código.

El EPS es un documento que una vez aprobado sirve para soldar no solamente el espesor de material descrito en este sino un rango de espesores, que depende del espesor con el que fue realizado el procedimiento, el tipo de junta y del tipo de conexiones. Estos rangos de calificación se encuentran descritos en las tablas 4.2, 4.3 y 4.4 del código en uso.

Para realizar un EPS precalificado usando el código AWS D1.1 se deben saber los siguientes parámetros: el material base (tipo y dimensiones) a soldarse, dado por la necesidad del dueño; las posiciones y el proceso de soldadura, dados por la disponibilidad del constructor. Ya con estas variables dadas se puede escoger el tipo de material de aporte, el diseño de la juntas, temperaturas de precalentamiento y entre pases, tratamiento post soldadura, etc.

5.6.1. VARIABLES ESENCIALES

Las variables esenciales son los parámetros descritos en el EPS, que controlan la obtención de una buena soldadura, estas variables se las controla y fija antes y durante la realización de la soldadura y que de ser cambiadas requieren una reescritura del EPS y una nueva calificación.

Estas variables tienen que ver con las propiedades del material de aporte, electrodos utilizados, protección de soldadura, parámetros eléctricos, tipos de juntas, etc. y se encuentran descritas con más detalle en la tabla 4.5 del código AWS D1.1 (Anexo 6)

5.6.2. VARIABLES SUPLEMENTARIAMENTE ESENCIALES

Estas variables descritas también en el procedimiento de soldadura cuando son cambiadas requieren también una recalificación, pero esta se hace solamente a través de un ensayo Charpy (CVN) y ya no de todas las pruebas descritas para calificación. Entre estas variables se encuentran las propiedades del material base y de aporte, posición de soldadura, temperaturas de precalentamiento y entre pases, etc. y se encuentran descritas con más detalle en la tabla 4.6 del código mencionado (Anexo 7)

5.6.3. EJEMPLO DE EPS

Para la elaboración de estos EPSs se tomará como base el formato sugerido por el Anexo E del código AWS D1.1. Para el material base se escogió acero A36 por su gran uso dentro de estructuras metálicas, su disponibilidad en el mercado ecuatoriano y su costo, con espesores de 6mm para el alma de la viga y 8 para los patines, estos espesores son comunes para construcciones medianas, estos espesores los debe dar el diseñador de la estructura. Para el proceso de soldadura se escogió el proceso GMAW debido a que su versatilidad para soldar diferentes espesores, alto rendimiento, bajo costo en producción, por la no producción de escoria y como la soldadura se realizará dentro de taller resulta un proceso óptimo para este trabajo. Con estos datos se escogió como material de aporte el electrodo ER70S-6 de acuerdo al material base, espesor y proceso dados en la tabla 3.1 del código en uso, el diámetro del electrodo se seleccionó de acuerdo al espesor del material base, al proceso de soldadura, al tipo de soldadura y a la posición de

soldadura en este caso se será de 1.2 mm existente en el mercado el máximo recomendado de acuerdo a la tabla 3.7 es de 3.2 mm. El gas de protección será un mix de argón y CO₂ para poder obtener un modo de transferencia del material tipo globular con un flujo de 10 a 14 lt/min para garantizar una buena atmósfera protectora. Las temperaturas entre pases y de precalentamiento mínima en el material base es de 0°C escogidas de la tabla 3.2 de acuerdo al tipo de material base, a su espesor y al proceso de soldadura, esta es la temperatura mínima por lo que para la soldadura en quito se recomienda como temperatura mínima la temperatura ambiente. Para el caso del armado de vigas y columnas tipo I se va a usar una junta tipo T con una soldadura de filete y la preparación del bisel será en escuadra con la soldadura intermitente e intercalada a ambos lados del alma de el elemento. Cuando se requiera unir 2 o más platinas para el armado de columnas o vigas más largas que el tamaño del material base su usará una junta a tope con una soldadura de ranura y la preparación del bisel será en V con soldadura en la totalidad de la longitud de los elementos a ser unidos. El tipo de transferencia será globular, para esto se utilizará corriente continua y polaridad inversa, los rangos de amperaje y voltaje serán los dados por el fabricante. Para la técnica a utilizarse se tendrá un solo pase sin oscilación y con un solo electrodo.

Los EPSs mencionados se encuentran en el Anexo 8.

5.7 REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO

Conocido como PQR por sus siglas en inglés (Procedure Qualification Record), el registro de calificación del procedimiento RCP es como su nombre lo indica un documento donde se registran las pruebas y resultados, realizadas para respaldar un procedimiento de soldadura especificado.

La calificación de un procedimiento consiste en soldar un ensamble o cupón de prueba empelando las variables establecidas en el EPS a calificar, y obtener de este las probetas para realizar los ensayos que establece cada norma. El objetivo de la calificación de un procedimiento es determinar si la soldadura propuesta en el EPS es capaz de tener las propiedades para la aplicación deseada.

Cuando se realiza soldadura de estructuras bajo el código AWS D1.1, las pruebas que se deben realizar para la calificación del procedimiento se encuentran especificadas en la parte B de la sección 4 de este código, para soldaduras de ranura se hacen necesarios además de dos tensiones y cuatro doblados, pruebas no destructivas y visuales del cupón de prueba, para el caso de los filetes se usan principalmente otras pruebas como macro ataque. Además en la sección 4, se indican los criterios de aceptación para las pruebas tanto destructivas como no destructivas.

Si los resultados de la pruebas son satisfactorios el EPS queda calificado y listo para usarse, de no ser así se deberán modificar las variables del mismo para corregir las posibles fallas que pueden aparecer como resultado de las pruebas realizadas.

En el caso de usarse un EPS con el estatus de precalificado este queda exento de las pruebas descritas siempre y cuando este cumpla con todos los requerimientos de la precalificación, de no ser así se deberá realizar un RCP y calificar este procedimiento.

La norma AWS D1.1 también da un formato a utilizarse en el caso del RCP, mismo que también se encuentra en el anexo E a continuación del formato y ejemplos de EPSs.

En el presente documento se puede encontrar un formato para la elaboración del RCP en el Anexo 9, basado en el formato dado por el código en uso.

5.8 CALIFICACIÓN DEL PERSONAL DE SOLDADURA

Las normas y códigos establecen que el personal, antes de iniciar cualquier soldadura, debe estar debidamente calificado en la extensión y términos especificados, ya sea que se trate de procedimientos precalificados o calificados.

El personal de soldadura se clasifica en tres grupos: soldador, si se emplea métodos de soldadura manuales o semiautomáticos; operador de soldadura, si se emplean métodos mecanizados o automáticos; y punteador si únicamente

aplica puntos. Esta última clasificación es considerada únicamente por las normas emitidas por la AWS.

Para la evaluación de la habilidad del personal de soldadura se necesita un EPS previamente documentado y calificado, el mismo que servirá como base para fijar los límites de las variables dentro de los cuales queda calificado el personal.

Las pruebas de calificación de personal tienen el propósito de el personal tiene la capacidad para depositar metal de soldadura sin defectos.

Para el caso de espesores menores a 10 mm se requieren un doblado de cara, uno de raíz que pueden ser substituidos por un doblado de lado en el caso de que el espesor de placa sea de de 10 mm para la soldadura de ranura. Para la soldadura de filete se requieren dos doblados de raíz. Todas las soldaduras deben ser visualmente inspeccionadas y las pruebas mecánicas pueden ser substituidas por radiografía excepto cuando se usa GMAW en corto circuito. Todas las pruebas se encuentran más detalladas en la tabla 4.10 del código AWS D1.1.

Además de las pruebas necesarias, también se describe en la parte C los criterios de aceptación de dichas pruebas, tanto destructivas como no destructivas. Todos los resultados de las pruebas se llevan en una hoja de registro conocida como Procedimiento de Calificación del Soldador PCS conocido como WPQ por sus siglas en inglés (Welder Procedure Calibration)

5.8.1. VARIABLES ESENCIALES

En el caso de la calificación de personal de soldadura también existen variables esenciales que no pueden ser cambiadas y de ser así necesitan una recalificación, estas variables están definidas como los cambios en las condiciones de soldadura que afectan la capacidad del personal de soldadura para depositar material sano, entre las variables principales se tienen: cambio a un proceso no calificado, cambio de número F para electrodos SMAW a un número mayor, cambio a una posición no calificada, a un diámetro o espesor no calificado, cambio de la progresión en soldadura vertical, la omisión de respaldo, cambio de simple electrodo a múltiple electrodo o viceversa. El tipo

de personal afectado por el cambio de estas variables se encuentra descrito en la tabla 4.11 del código en uso (Anexo 10).

5.8.2. RE PRUEBAS

En el caso de que un soldador, operador de soldadura o punteador, falle las pruebas de calificación o exista alguna razón específica para dudar de su habilidad o el periodo de efectividad haya pasado, se puede aplicar un re prueba siempre y cuando se cumpla con: una re prueba inmediata después de fallar la calificación, proveer la evidencia necesaria de entrenamiento en el caso de haber expirado el periodo de efectividad del soldador. Cuando el soldador falla la re prueba no podrá dar otra prueba sin el entrenamiento adicional.

La calificación del personal de soldadura también se lleva en un registro escrito, este tiene el nombre de Procedimiento de Calificación del Soldador, o conocido como WPQ por sus siglas en inglés (Welder Procedure Qualification). Un formato de este se encuentra en el anexo E del código AWS estudiado en este documento, en el Anexo 11 se puede encontrar un formato en español para calificación de soldadores basado en el formato de la norma.

5.9 ENSAYOS DESTRUCTIVOS

Los ensayos, pruebas o exámenes destructivos pueden definirse como aquellos en los que se inutiliza o destruye la probeta analizada. Las pruebas destructivas a las que se someten las juntas y productos soldados pueden clasificarse en mecánicas, químicas y metalográficas, y cada uno de estas incluye un número relativamente grande de pruebas para satisfacer los requisitos especificados.

5.9.1. ENSAYOS MECÁNICOS

Estos pueden definirse como los empleados para determinar las propiedades mecánicas, tales como la resistencia, la tenacidad y la ductilidad. Las pruebas mecánicas que involucran la deformación plástica indican si la probeta es apropiada para un servicio mecánico determinado. Existen pruebas mecánicas estáticas o dinámicas, la mayor parte de estas se realizan a

temperatura ambiente, pero hay otras que se realizan a temperaturas o muy elevadas o muy bajas.

Las pruebas mecánicas que se realizan más frecuentemente son:

- Tensión
- Doblado
- Dureza
- Impacto
- Fatiga
- Creep (Termofluencia)

5.9.2. ENSAYOS QUÍMICOS

Las pruebas químicas se usan principalmente para determinar la composición química de metales base y de metales de aporte y para evaluar la resistencia a la corrosión de juntas soldadas.

Existe una gran cantidad de métodos y técnicas para realizar el análisis químico y la obtención de las muestras para dicho análisis. Las normas para realizar estas actividades están referidas en las especificaciones de cada material y en los volúmenes 03.05 y 03.06 de la sección 3 de la ASTM.

5.9.3. ENSAYOS METALOGRÁFICOS

Los ensayos metalográficos consisten en la obtención, preparación (mediante corte, desbaste, pulido y ataque químico) y evaluación de muestras metálicas representativas de la estructura metalúrgica que se desea examinar. El examen puede hacerse a simple vista, con pocos aumentos, por medio de microscopios ópticos o electrónicos y por difracción de rayos.

Para la evaluación con pruebas metalográficas se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- La ausencia de defectos en las juntas.
- La distribución de inclusiones no metálicas en las juntas.
- El número de pases de soldadura.

- La localización y la profundidad de la penetración de la soldadura.
- La extensión de la zona térmicamente afectada.
- La estructura metalúrgica del metal de soldadura y de la zona afectada por el calor.

La mayor parte de las pruebas metalográficas que se emplean para evaluar juntas soldadas se efectúan a escala macroscópica (a simple vista o a pocos aumentos) y permiten revelar aspectos tales como la estructura y configuración generales de los cordones de soldadura y su penetración, así como la presencia de poros, grietas e inclusiones.

5.10 ENSAYOS NO DETRUCTIVOS

En los ensayos no destructivos no se afecta la funcionalidad ni las propiedades de manera permanente de la pieza que se está ensayando, su finalidad es la de detectar discontinuidades tanto superficiales, subsuperficiales e internas de acuerdo al método empleado.

Para la adecuada selección del método no destructivo a ser empleado se tienen algunos factores como que cada método es más bien específico y no general, es decir, no hay un método de END que cubra todas las situaciones o casos de análisis y tienden a complementarse unos con otros; esto depende del tipo de material la configuración geométrica de la pieza, aspectos económicos, requerimientos de las norma y códigos, método de fabricación o una combinación de dos o más de estos.

Entre los principales métodos de END están:

- Inspección visual
- Líquidos penetrantes
- Partículas magnéticas
- Radiografía
- Ultrasonido
- Corrientes parásitas o Corrientes de Eddy
- Detección de fugas

- Radiografía neutrónica
- Análisis de emisión acústica
- Análisis de vibraciones
- Pruebas térmicas o infrarrojas

En el código AWS D1.1 Sección 6 se hace referencia principalmente a tres de los métodos de la lista anterior que son la examinación visual, la radiografía y el ultrasonido.

5.10.1. INSPECCIÓN VISUAL

El examen o inspección visual se define como el método de prueba no destructiva que emplea la radiación electromagnética de las frecuencias visibles. Los cambios de las propiedades de la luz después de su contacto con el objeto inspeccionado pueden ser detectados por la visión humana o por medios mecanizados.

La inspección visual se emplea para determinar aspectos como la cantidad y forma, tamaño, acabado superficial, características de color, adecuación, características funcionales y la detección de discontinuidades y defectos superficiales.

En términos sencillos la inspección visual consiste en la observación cuidadosa de las partes sujetas a examinación durante las diferentes etapas del proceso de producción, desde la recepción de las materias primas hasta el producto terminado. La mayor parte del tiempo esta inspección se hace a simple vista pero pueden usarse medios de ayuda visual como lupas, espejos, endoscopios y otros accesorios.

Las discontinuidades típicas que se detectan con este método son: socavaduras, falta de llenado, porosidad superficial, grietas a la superficie, traslapes, tamaños y gargantas de soldadura menores a los especificados, convexidades, refuerzos excesivos, distorsión y falta de alineación.

Las principales ventajas de la inspección visual son las siguientes:

- Puede realizarse antes durante y después del proceso.

- La inspección visual sirve para detectar gran parte de las discontinuidades y dar indicios de otras para ser detectadas por otros métodos.
- Pueden detectarse discontinuidades y prevenir que se transformen en defectos.
- Es el método más barato de los END.
- Posibilita la reducción de costos y tiempos de fabricación.

Sus principales limitaciones son:

- Esta depende de la habilidad del inspector.
- El inspector debe tener gran conocimiento y experiencia en el campo de la soldadura y la inspección de este.
- Está limitado a la detección de discontinuidades superficiales.
- Debe realizarse desde el principio de la producción para garantizar su efectividad

Los criterios de aceptación para la inspección visual se encuentran descritos en la tabla 6.1 del código en uso. Además el código sita que todas las soldaduras deberán ser inspeccionadas visualmente y su aceptación será de conformidad con la tabla descrita anteriormente.

5.10.2. RADIOGRAFÍA

Este método se emplea para detectar discontinuidades sub superficiales e internas, se lo aplica ampliamente para el control de calidad en piezas forjadas, fundidas y juntas de soldadura.

Este es un método no destructivo que utiliza las propiedades de la radiación electromagnética de atravesar los cuerpos opacos a la luz visible, esta radiación, de características similares a la luz pero de mayor energía, incide sobre el cuerpo a ser examinado y este absorbe parte de esta radiación dependiendo de su densidad, otra parte de la radiación se dispersa o refleja y la parte de radiación que logra atravesar este cuerpo lo hace de una manera atenuada, esta radiación incide sobre una placa fotosensible y la imagen interna de la pieza examinada queda registrada en esta película. De esa forma si existe alguna discontinuidad en el material esta quedará registrada en la película radiográfica y podrá ser evaluada por el inspector.

El tiempo y la cantidad o energía de la radiación dependerán principalmente de la distancia a la cual se irradie el objeto, del espesor del mismo y del tipo de material que lo constituya. Se utilizan 2 tipos de fuentes de radiación electromagnética, la una es una fuente de Rayos X producidas por medio de energía eléctrica, y la otra es una fuente de Rayos Gamma producidos por un radio isótopo, tales como el iridio 192, cobalto 60, cesio 137.

Una vez que la radiografía ha sido tomada es necesario realizar un procedimiento de revelado de la película irradiada, esto se hace para hacer evidente la imagen registrada en la película después de haber sido hecha la radiografía.

Las discontinuidades detectadas por este método suelen ser socavaduras, penetración incompleta, poros, inclusiones de escoria, inclusiones de tungsteno, grietas, falta de fusión entre otras.

Las principales ventajas de este método son:

- Proporcionar un registro permanente de los resultados.
- Las imágenes radiográficas ayudan a caracterizar las discontinuidades.
- Puede aplicarse a diversos materiales.
- Puede acceder a discontinuidades internas y sub superficiales.
- El equipo para radiografía de rayos X puede ajustarse a diferentes niveles de energía y las imágenes radiográficas son de calidad superior a las obtenidas con radiografía gamma.

Entre sus principales limitaciones están:

- Las discontinuidades aplanadas (desgarre laminar y en cierta medida grietas y fusión incompleta) pueden no ser detectadas, por lo que su confiabilidad queda limitada.
- Se requiere tener acceso a ambos lados del el objeto a inspeccionar.
- El equipo es costoso.
- El equipo de rayos X generalmente no es portátil.

- La actividad de las fuentes de rayos gamma decae y su nivel de energía no puede ser ajustado.
- La radiación representa un alto riesgo para la seguridad del personal, por lo que el almacenamiento y el manejo de las fuentes requiere de instalaciones, cuidados y entrenamiento rigurosos.
- Se requiere personal entrenado y con experiencia.
- No indica la profundidad a la que se encuentra la discontinuidad a menos que se usen técnicas especiales.
- No se recomienda su uso para la inspección de piezas de geometría complicada, ya que sus resultados pueden ser poco confiables.
- La operación del equipo representa riesgos de salud si no se observan las normas de seguridad adecuadas.

En el código AWS D1.1 se encuentra descrito el procedimiento para la realización del ensayo radiográfico de manera detallada. También están descritos los criterios de aceptación por este método divididos para conexiones no tubulares estáticamente cargadas, no tubulares cíclicamente cargadas y para conexiones tubulares.

5.10.3. ULTRASONIDO

Este método se emplea para detectar y localizar discontinuidades superficiales e internas por medio de haces de ondas sonoras de alta frecuencia que se introducen en los elementos a inspeccionar. Los haces sonoros se dirigen por una trayectoria previsible dentro de la pieza y son reflejados por las superficies de las discontinuidades que los interceptan, los ecos de sonido que se producen por estas discontinuidades se detectan y su señal es amplificada y llevada a un tubo de rayos catódicos o en los nuevos equipos se digitaliza y se muestra en una pantalla, en ambos casos se muestra como una onda con un desplazamiento vertical.

La detección, localización y evaluación de las discontinuidades es posible a dos hechos: la velocidad del sonido a través de un metal es casi constante, por lo que pueden medirse las distancias recorridas; la amplitud de los pulsos de sonido reflejados es más o menos proporcional al tamaño del reflector. El

grado de reflexión y refracción que sufre un haz ultrasónico cuando pasa de un medio a otro depende de la diferencia entre las resistencias que cada medio ofrece a su paso, eso se conoce como impedancia acústica.

Las ondas sonoras que emplea el ultrasonido, son similares a las que percibe el oído humano, pero de una frecuencia mucho mayor, se encuentran en el orden de los mega hertzios. La producción de estas ondas se la realiza a través de un cristal piezoeléctrico como el cuarzo o el titanato de bario, que son los llamados transductores, estos tienen la propiedad de transformar la energía eléctrica en mecánica y viceversa. Cuando el transductor es conectado a un generador de alta frecuencia los átomos de la red cristalina que lo conforma se reordenan cambiando sus dimensiones y produciendo vibración de alta frecuencia, de igual manera cuando estos piezoeléctricos reciben energía mecánica en forma de vibraciones de alta frecuencia, la transforman en pulsos eléctricos; así pueden funcionar como emisor y receptor del ultrasonido.

Las principales ventajas de este método son:

- Se pueden detectar discontinuidades internas y superficiales.
- Gran sensibilidad para discontinuidades aplanadas.
- Solo es necesario tener acceso por un lado del material a inspeccionar.
- Tiene alta capacidad de penetración.
- Los resultados de prueba son conocidos inmediatamente.
- Puede determinarse el tamaño, localización y orientación de las discontinuidades.
- El equipo es portátil.
- La mayor parte de los equipos funcionan con baterías y no necesitan conectarse a una fuente de poder.

Entre las limitaciones de este método están:

- Está limitado a la geometría de la pieza y a la estructura interna de los materiales a inspeccionar.

- Las soldaduras pequeñas y los materiales delgados son difíciles de inspeccionar.
- El acabado superficial debe ser adecuado para acoplar los palpadores.
- Requiere de materiales acoplantes.
- La calificación del personal requiere de mayor experiencia y entrenamiento que para los otros métodos no destructivos.
- Se necesitan patrones de referencia.
- Es difícil la detección de discontinuidades que no son perpendiculares al haz ultrasónico.
- El costo del equipo es relativamente alto.

En el código de referencia se puede encontrar la descripción del procedimiento para realización de ultrasonido y también el procedimiento de calibración de los equipos. Los criterios de aceptación se encuentran divididos en la misma manera que lo están para radiografía y se resumen en las tablas 6.2 y 6.3 los criterios para conexiones no tubulares estática y cíclicamente cargadas respectivamente.

El código también hace mención de la aplicación de los métodos de partículas magnéticas y tintas penetrantes pero no describe su procedimiento ni los criterios de aceptación.

5.11 PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN

El procedimiento de fabricación descrito está hecho para una planta de producción pequeña, pero de tal forma que esta pueda ampliarse sin tener problemas de demoras y adaptación al nuevo ritmo de producción.

5.11.1. ENTRADA DE LA MATERIA PRIMA

En la recepción del material se tiene los siguientes pasos:

1. Compra y recepción del material base, de aporte y gases.
2. Verificación de los certificados de calidad o pruebas para su liberación.

3. Inspección del material
4. Una vez liberados los materiales se procede a un almacenamiento temporal.

Los certificados de los materiales se deben obtener por lotes o por coladas en el caso de el material base, por lotes en el caso de material de aporte y gases, de la misma manera en caso de realizar las pruebas se deben hacer por lo lotes ya sean pruebas de tracción o de análisis químico.

El inspector de calidad debe revisar esta documentación y determinar si se deben realizar estas pruebas. También debe revisar que el material base se encuentre en buen estado, es decir, sin distorsiones, golpes, marcas de soldadura ni laminaciones entre otros; en el caso del material de aporte se revisará su correcto empaquetamiento y en el caso de los gases el estado de los cilindros y manómetros. Si los materiales a usarse no cumplen con lo establecido será responsabilidad del dueño de la obra liberar dichos materiales para su uso y bajo su responsabilidad.

Es muy importante la comunicación con el proveedor y tratar de que la entrega del material, sobre todo el material base, se realice de tal manera que el almacenamiento se minimice al máximo, es decir que se provea material para el consumo diario o máximo semanal.

5.11.2. CORTE Y BISELADO

Una vez que se tiene el material listo para trabajar conjuntamente con los EPS, RCP y PCS, se procede al corte y biselado que consta de las siguientes etapas:

1. Corte de las planchas de gran tamaño de ser necesario.
2. Corte de flejes para ajustar su largo al tamaño requerido.
3. Biselado para soldadura cuando se necesita alargar los flejes.

El corte se lo realiza con máquinas plasma en un proceso semiautomático y para el biselado se hará una aproximación al requerido con el plasma y se dará un acabado con amoladora de manera manual.

5.11.3. ARMADO Y PUNTEADO

Para el armado y punteado previo a la soldadura se realizarán los siguientes pasos:

1. Enderezado de flejes de acero.
2. Limpieza previa a la soldadura.
3. Armado y alineación de las almas y patines de los perfiles.
4. Punteado de almas a patines.

El enderezado no siempre es necesario, esto es debido a que el corte se lo hace por plasma precisamente para evitar la distorsión térmica.

El armado se lo hará en una mesa cuidando el paralelismo entre los patines del elemento y la perpendicularidad de estos con el alma, así como la distancia para que las alas queden de igual tamaño. Para esto se puede marcar los patines y usar un patrón de viga así como sujetadores para evitar la distorsión.

El punteado se lo debe hacer de tal forma que los puntos coincidan con la longitud de los cordones intermitentes en cada lado del alma y sirvan de guía para el soldador.

5.11.4. SOLDADURA

En el procedimiento de soldadura se tiene los siguientes pasos:

1. Soldadura.
2. Inspección.
3. Reparación.

La soldadura se realizará en base a los EPS establecidos por el ingeniero a cargo y por soldadores con las calificaciones correspondientes. En el caso de ser soldaduras largas (de más de 1 metro) se usará paso peregrino para evitar la distorsión. La soldadura se realizará primero entre el alma y el patín inferior, por ambos lados, se gira la viga y se procede a soldar el otro patín de igual manera por ambos lados con un proceso GMAW.

Se realizará una inspección visual por parte del ingeniero del 100% de todas las soldaduras.

De existir defectos detectados por la inspección visual se procederá repararlos en sitio antes de que el elemento sea liberado para pintura.

5.11.5. PINTURA Y ALMACENAMIENTO

La fase final es la de pintura es tiene los siguientes pasos:

1. Limpieza con solvente y herramienta manual. SSPC-SP-1 y SSPC-SP-2 o SSPC-SP-3.
2. Pintura con anticorrosivo.
3. Inspección de pintura.
4. Almacenamiento temporal
5. Embarque hacia su destino.

La limpieza con solvente se la hace para retirar cualquier residuo o suciedad y la limpieza con herramienta manual o mecánica se hace para dar rugosidad y obtener un buen perfil de anclaje para la aplicación de la pintura. Los grados de limpieza mencionados se aclaran a continuación:

5.11.5.1. SSPC-SP-1 Limpieza con Solvente

Es llamada limpieza con solvente. Sin embargo está basado en la utilización de productos tales como: vapor de agua, soluciones alcalinas, emulsiones jabonosas, detergentes y solventes orgánicos. Mediante este método son removidos la mayoría de los contaminantes como: grasa, aceite, polvo y sales solubles en el agente limpiador. La solución limpiadora es aplicada suavemente o mediante equipo de presión, seguido de un lavado con agua natural y secado con equipo de vacío o simplemente utilizando aire seco.

5.11.5.2. SSPC-SP-2 Limpieza Manual

Este método utiliza herramientas manuales, no eléctricas, para eliminar impurezas, tales como: residuos de soldaduras, oxidación, pintura envejecida y otras incrustantes que puedan ser removidos con el solo esfuerzo humano.

A través de este método, generalmente no es posible desprender completamente todas las incrustaciones. Los bordes de pintura envejecida, deben ser desvanecidos para mejorar la apariencia del repintado que se haga posterior a la limpieza.

5.11.5.3.SSPC-SP-3 Limpieza Mecánica

La limpieza mecánica, es un método que utiliza herramienta eléctrica o neumática, para eliminar impurezas tales como: residuos de soldadura, oxidación, pintura envejecida y otros incrustantes que pueden ser removidos con estas herramientas. A través de este método, generalmente no es posible desprender completamente todas las incrustaciones.

Los bordes de pintura envejecida, deben ser desvanecidos, para mejorar la apariencia del repintado que se haga posterior a la limpieza.

Se realizará la aplicación de 2 capas de pintura anticorrosiva a través de soplete cuidando las especificaciones dadas por el fabricante de la pintura, como temperatura ambiental y del metal, punto de rocío, humedad relativa, tiempo de curado, etc.

La inspección la realizará el ingeniero basándose en las pruebas y criterios dados por la norma ASTM D 3359 con un nivel mínimo de adhesión 4A o 4B.

Finalmente se almacenarán las vigas y columnas terminadas tratando de que este tiempo de almacenamiento sea mínimo y si es posible reducirlo a cero enviando toda la producción diaria para el montaje.

5.11.6. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCEDIMIENTO

Todo el proceso descrito anteriormente se lo puede resumir en la figura 5.17, que es el diagrama de flujo del procedimiento.

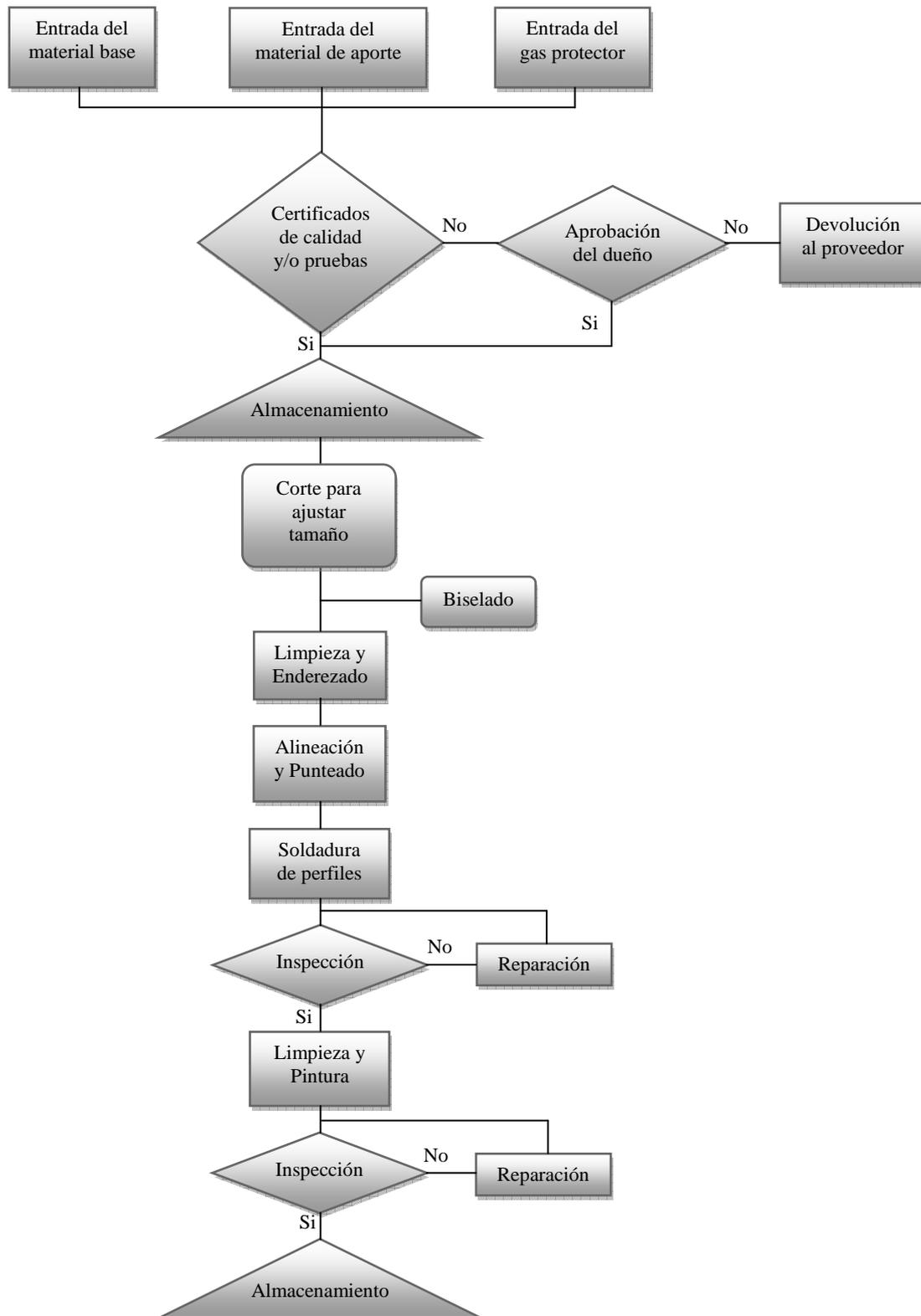


Figura 5.17. Diagrama de flujo del procedimiento de fabricación de vigas y columnas tipo I

5.11.7. PERSONAL NECESARIO

El inspector de calidad, en este caso un ingeniero, es el encargado de realizar los EPS, RCP y PCS además de las inspecciones de calidad descritas en el procedimiento.

Para las operaciones de almacenamiento, corte y biselado, estas 2 últimas cuando se requieran se necesita un operario.

Para las operaciones de limpieza, enderezado, alienación y punteo se requerirá a 2 personas que sean calificados como punteadores.

Para la soldadura de las perfiles se requerirá de 2 soldadores calificados para poder soldar de cada lado del alma y cuando se requiera girar la viga o columna se puede usar a una o dos personas punteadores o de corte y biselado.

Finalmente se necesita una persona para la operación de limpieza y pintura.

En total para iniciar la empresa se necesitan 8 personas.

5.11.8. MAQUINARIA NECESARIA

Para la examinación visual se requiere solo del inspector y en caso que lo solicite un instrumento de amplificación óptica y una linterna. Para la inspección de pintura se requiere un cortador de trama cruzada y un rollo de cinta press on film. En el caso de todos los otros ensayos de calificación de personal y procesos se los enviará a laboratorios especializados.

Para las operaciones de corte y biselado se necesita una máquina cortadora plasma y una amoladora con discos de desbaste, además de escuadras y tizas.

En la operación de limpieza se usará una grata y desengrasante de ser necesario.

Para las operaciones de enderezado, alineación y punteo se requiere una mesa provista de sujetadores que permitan colocar y seguir un patrón de soldadura además de una máquina soldadora que puede ser GMAW de menor capacidad que las soldadoras usadas para el empate alma patín.

En la soldadura se usarán 2 máquinas de soldadura GMAW con sus respectivos aditamentos y una mesa de soldadura compuesta por rodillos para la manipulación del elemento.

En la limpieza previa a la pintura se usará ácido de decapante como solvente y lija o cepillo metálico que puede ser reemplazado por grata.

Para la pintura se necesita un compresor de capacidad mediana y los accesorios de pintura.

A continuación en la Tabla 5.1 se detalla la maquinaria necesaria para la implementación de la planta:

| Máquina o Equipo | Características | Imagen |
|-----------------------------------|---|---|
| <i>Inspección</i> | | |
| Lupa | Con 2x de aumento óptico |  |
| Linterna | 20 lux mínimo para iluminación |  |
| Equipo de Inspección para pintura | Incluye cortador de trama cruzada y cinta pres son film. Ej.: Elcometer 107 |  |
| <i>Soldadura</i> | | |
| Soldadora para punteo | Soldadora GMAW de fácil transporte, ciclo de trabajo de por lo menos 30%. Ej.: Soldadora Indura Amigo 251 (Características ver Anexo 12) |  |
| Soldadora para armado | Soldadora de fácil transporte, con rangos de amperaje de 150 a 300 A, ciclo de trabajo de 50%. Ej.: Soldadora Indura Amigo 313 (Características Anexo 12) |  |
| <i>Corte y Biselado</i> | | |

| | | |
|------------------|---|---|
| Cortadora plasma | Cortadora de fácil transporte, capacidad de corte de por lo menos 10 mm, ciclo de trabajo de por lo menos 50%. Ej.: Cortadora plasma Miller Spectrum 2050 (Características Anexo 12) |  |
| Amoladoras | Herramienta capaz de ser utilizada para biselado con discos de desbaste o para limpieza con grata, ciclo de trabajo de 100%, liviana y de fácil manejo. Ej.: Amoladora Metabo W-25 230 (Características Anexo 12) |  |
| <i>Pintura</i> | | |
| Compresor | Compresor con tanque de almacenamiento de mínimo 100lt y presión mínima de 100 psi. Ej.: Compresor Fiac (Características Anexo 12) |  |

Tabla 5.1. Características básicas de la maquinaria y equipo necesarias para planta.

Además de las herramientas descritas se necesitarán de varios consumibles como disco de corte, gratas, pintura, tizas, guaípe etc. y de herramientas varias como escuadras, llaves, piquetas, etc. También se debe proveer a los trabajadores de la empresa del respectivo equipo de seguridad que de una manera básica incluye zapatos de seguridad, casco, guantes, gafas de seguridad, tapones para los oídos, overol o ropa de trabajo, cinturón para alzar peso.

5.11.9. DISPOSICIÓN GENERAL DE LA PLANTA

Esta planta para una producción mediana y especializada se la puede montar en un terreno de no menos de 200 m², el galpón debe ser necesariamente cerrado para evitar las corrientes de viento, la disposición de las áreas de trabajo debe seguir una cadena de producción, es decir, se deben colocar áreas de producción similar una junto a otra y de igual manera con la cadena de producción. De esta forma se seguirá el diagrama de flujo antes mencionado para la implantación de la fábrica.

Se deberá reducir las distancias entre las diferentes áreas de producción que no aportan valor agregado al producto y colocar los sitios de trabajo unos cerca de otros para disminuir los tiempos de movilización de las partes en construcción, sin que la movilidad de los operarios se vea afectada.

En el plano TAVV001 (Anexo 13) se muestra una posible forma de distribución de las áreas de trabajo en un galpón con un área de 225 m², se ha seguido la distribución en forma de célula para poder optimizar el espacio. Debido a que los perfiles a ser fabricados son para módulos habitacionales, el tamaño de estos para columnas variará entre 2,20 y 3 metros de longitud y las vigas que serán fabricadas tendrán longitudes entre 3 y 5 metros, estos tamaños de perfiles relativamente pequeños hacen posible que la planta no requiera de dimensiones muy grandes. La distribución de la planta se basa en la forma del diagrama de flujo de la materia prima, la disponibilidad de espacio y el volumen de producción, todos estos parámetros deben ser registrados pensando en un crecimiento de la planta.

También se muestra el flujo de la materia prima desde su ingreso hasta convertirse en un producto terminado pasando por las respectivas etapas de inspección, cumpliendo así con todos los parámetros exigidos por la norma de soldadura AWS D1.1 y garantizando así la calidad del producto.

CAPÍTULO 6

6.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Como se puede observar en la tabla 1.1 el crecimiento poblacional de Quito ha ido disminuyendo con el tiempo, sin embargo es de notarse que casi es estable en la última década mostrada.
- La figura 1.2 muestra que la demanda de vivienda es mayor que la existente, a pesar de haber una pequeña porción de vivienda no ocupada esta no satisface la necesidad de la misma.
- Muchas de las empresas consultadas se dedican a otro tipo de construcción diferente a las estructuras habitacionales, comparada con la necesidad de vivienda en Ecuador.
- Los constructores de estructuras utilizan la norma AISC para el diseño y las normas AWS para la soldadura.
- Comparando los valores de las preguntas 4 y 10 se puede concluir que las empresas tienen más inspectores de calidad que ingenieros mecánicos, esto quiere decir que el control de calidad no siempre lo realiza un ingeniero mecánico.
- Muchas de las empresas realizan ensayos para la comprobación de sus productos sin embargo no poseen todos los ingenieros mecánicos a cargo de estos ensayos, se informó que suelen contratar el servicio.
- El ensayo más usado es el de Inspección visual, por ser el más barato y rápido, pero cabe recalcar la importancia de que esta inspección la realice una persona competente y con experiencia en soldadura y en esta clase de ensayo.
- De los perfiles utilizados por las empresas se puede observar que la mayoría son soldados, esto indica la importancia de la soldadura en la fabricación de perfiles.
- Muchas empresas usan perfiles laminados pero no se indicó la cantidad de estos ni de los perfiles soldados.

- Existe el uso de muchos EPSs sin el respectivo respaldo esto se puede deberse al uso de EPSs precalificados.
- La calificación del personal de soldadura sin embargo está muy debajo del uso de EPSs, se debe tener personal calificado para que el EPS sea un documento efectivo.
- Se debe notar también que existe un porcentaje de empresas que no usan ninguno de estos documentos de soldadura.
- Existen varios tipos de perfiles a usarse en la erección de una estructura, el perfil tipo I muestra unas buenas características para resistir cargas además de la facilidad de construcción de dicho perfil.
- Se debe tener especial cuidado con la esbeltez en el momento de diseñar y fabricar una columna, debido a que se sobrepasa su valor recomendado las propiedades del acero se perderán y el miembro podría fallar sin importar que tan buen acero se use.
- Las ventajas mostradas del perfil tipo I sobre los otros lo hacen un perfil muy usado en la industria de la construcción de estructuras para módulos habitacionales.
- En la actualidad existen programas que dan una muy buena aproximación en el diseño y dimensionamiento de estructuras, sin embargo se necesita de un ingeniero para verificar y utilizar estos programas así como para el diseño y dimensionamiento de las conexiones de los miembros sean estas soldadas o empernadas.
- El diseñador o proyectista es el encargado de entregar las dimensiones no solo de los perfiles a usarse sino también de los tamaños de soldadura requeridos, estos dependen básicamente de las cargas a las que están sometidas los miembros y del espesor de las placas que se usan en su fabricación.
- Los manuales para diseño AISC en sus versiones LRDF (Load and Resistance Design Factor) y ASD (Allowable Stress Design) son una guía muy útil para el diseño de estructuras.
- La finalidad de la manufactura de categoría mundial es la de reducir tiempos que no agreguen valor al producto, como reparaciones,

almacenamiento, movimiento de partes de un lugar a otro de la fábrica.

- Una empresa que está empezando tiene la ventaja de que puede empezar de tal manera que todo su sistema de producción se lo haga de una manera tecnificada, aplicando los conceptos de la manufactura de calidad mundial y un control de calidad para ser muy productiva desde el principio y así poder expenderse sin tener las complicaciones de las grandes empresas que crecen demasiado.
- La calidad del producto está ligada directamente con el personal que trabaja en la empresa, por tal motivo es muy importante que cada empleado sepa sus funciones y este cómodo con ellas, y sea el mismo empleado quien controle la calidad del producto.
- Para disminuir el tiempo en mover los elementos en construcción de un lugar a otro durante el proceso de fabricación es importante que la disposición de las áreas de trabajo de la fábrica sigan un orden, que lo puede establecer el diagrama de flujo del procedimiento.
- El manejo del código AWS D1.1 es muy importante en la fabricación de una estructura soldada, es una guía tanto para la soldadura en si como para el diseño de esta, para el manejo de personal y para llevar el control de calidad de la soldadura.
- Para el uso del código es necesario saber cómo utilizarlo, es decir como buscar la información que se necesita, mas no se necesita memorizarlo.
- Debido que en el Ecuador no existe una norma que regule la soldadura de estructuras el uso del código AWS D1.1 conjuntamente con otros códigos de origen Norte Americano y otros extranjeros, se ha vuelto importante en el país.
- Es importante revisar el código en su idioma original, pues las traducciones muchas veces no son exactas y son más bien interpretaciones del código.
- Al momento de seleccionar entre un perfil tipo W o tipo S, el W es una mejor opción en el país, debido a su facilidad de construcción y economía.

- Es muy importante cuidar que tanto el material base como el material de aporte utilizado en la soldadura sean de buena calidad y que cumplan con las especificaciones del diseño.
- Del procedimiento de soldadura escogido dependerán buena parte de la infraestructura necesaria en la fábrica.
- El tener procedimientos de soldadura y personal calificado ayuda a tener una buena calidad de soldadura pero no garantiza la perfección de esta, por eso es necesario tener un plan de calidad en la planta.
- La persona que se va a encargar del control de calidad de los elementos, lo debe hacer durante todo el proceso y debe ser una persona con experiencia en el campo de la soldadura, capaz de resolver cualquier problema relacionado con el tema de una manera rápida y eficaz.
- Se deben evitar los procesos u operaciones que no aporte valor agregado al producto, como tiempos de transporte, almacenamiento e inclusive se debería tender a la reducción de la inspección al mínimo y esto se logra solamente llevando a cabo el procedimiento de fabricación de una manera tecnificada y controlando todos los parámetros de fabricación desde el inicio de la operación a través de un plan de calidad y la capacitación permanente del personal de la fábrica.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|-----|
| CAPÍTULO 1 | 132 |
| 1.1 ESTUDIO DE LAS EMPRESAS DEDICADAS A LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA CON ESTRUCTURA METÁLICA EN QUITO..... | 1 |
| 1.1.1 INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.2 EMPRESAS DEDICADAS A LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA METÁLICA..... | 4 |
| 1.3 TABULACIÓN DE DATOS | 4 |
| 1.3.1 PREGUNTA N°1..... | 4 |
| 1.3.2 PREGUNTA N°2..... | 4 |
| 1.3.3 PREGUNTA N°3..... | 5 |
| 1.3.4 PREGUNTA N°4..... | 6 |
| 1.3.5 PREGUNTA N°5..... | 7 |
| 1.3.6 PREGUNTA N°6..... | 7 |
| 1.3.7 PREGUNTA N°7..... | 8 |
| 1.3.8 PREGUNTA N°8..... | 9 |
| 1.3.9 PREGUNTA N°9..... | 10 |
| 1.3.10 PREGUNTA N°10..... | 10 |
| CAPÍTULO 2 | 12 |
| 2.3 FUNDAMENTOS DEL DISEÑO EN PERFILES TIPO I | 12 |
| 2.3.1 INTRODUCCIÓN..... | 12 |
| 2.4 ESFUERZOS A TENSIÓN EN PERFILES TIPO I..... | 12 |
| 2.4.1 DEFINICIÓN DE TENSIÓN | 12 |
| 2.4.2 FÓRMULAS PARA MIEMBROS SOMETIDOS A TENSIÓN | 12 |
| 2.4.3 VENTAJAS DE LOS PERFILES TIPO I EN TENSIÓN..... | 14 |
| 2.5 ESFUERZOS A COMPRESIÓN EN PERFILES TIPO I..... | 15 |
| 2.5.1 DEFINICIÓN DE COMPRESIÓN..... | 15 |
| 2.5.2 FÓRMULAS PARA MIEMBROS SOMETIDOS A COMPRESIÓN | 15 |
| 2.5.3 VENTAJAS DE LOS PERFILES TIPO I EN COMPRESIÓN | 19 |
| 2.6 ESFUERZOS DE FLEXIÓN EN PERFILES TIPO I..... | 20 |
| 2.6.1 DEFINICIÓN DE FLEXIÓN..... | 20 |
| 2.6.2 FÓRMULAS PARA MIEMBROS SOMETIDOS A FLEXIÓN | 20 |
| 2.7 ESFUERZOS DE CORTANTE EN PERFILES TIPO I | 22 |
| 2.7.1 FÓRMULAS PARA MIEMBROS SOMETIDOS A CORTE | 23 |
| CAPÍTULO 3 | 25 |
| 3.1 CONCEPTOS DE MANUFACTURA | 25 |

| | | |
|------------------|---|----|
| 3.1.1 | INTRODUCCIÓN..... | 25 |
| 3.2 | MANUFACTURA DE CATEGORÍA MUNDIAL..... | 25 |
| 3.3 | PRODUCCIÓN JUSTO A TIEMPO..... | 26 |
| 3.3.1 | ELEMENTOS DE LA FILOSOFÍA JUSTA A TIEMPO (JAT) | 27 |
| 3.3.2 | BENEFICIOS O VENTAJAS..... | 29 |
| 3.4 | CONTROL TOTAL DE LA CALIDAD | 29 |
| 3.4.1 | CONCEPTOS BÁSICOS PARA UN CONTROL TOTAL DE LA CALIDAD..... | 31 |
| 3.5 | MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL..... | 32 |
| 3.5.1 | ACTIVIDADES FUNDAMENTALES | 34 |
| 3.6 | PERSONAL..... | 36 |
| 3.6.1 | CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS | 36 |
| 3.6.2 | ELIMINACIÓN DE INCENTIVOS SALARIALES..... | 37 |
| 3.6.3 | EFFECTOS COMPENSATORIOS..... | 38 |
| CAPÍTULO 4 | | 41 |
| 4.1 | GUÍA PARA EL USO DEL CÓDIGO AWS D1.1/D1.1M:2004..... | 41 |
| 4.1.1 | OBJETIVOS E INFORMACIÓN GENERAL..... | 41 |
| 4.1.2 | INTRODUCCIÓN A LA GUÍA DEL CÓDIGO AWS..... | 42 |
| 4.2. | MÓDULO 1 AWS D1.1, SECCIÓN 1: PROVISIONES GENERALES . | 50 |
| 4.3. | MÓDULO 2 AWS D1.1, SECCIÓN 2: DISEÑO DE CONEXIONES SOLDADAS | 52 |
| 4.3.1. | DESCRIPCIÓN GENERAL | 52 |
| 4.3.2. | PARTE A REQUERIMIENTOS COMUNES PARA EL DISEÑO DE CONEXIONES SOLDADAS (MIEMBROS TUBULARES Y NO TUBULARES) | 53 |
| 4.3.3. | PARTE B REQUERIMIENTOS ESPECÍFICOS PARA EL DISEÑO DE ELEMENTOS NO TUBULARES (ESTÁTICA Y CÍCLICAMENTE CARGADOS)..... | 54 |
| 4.3.4. | PARTE C REQUERIMIENTOS ESPECÍFICOS PARA EL DISEÑO DE CONEXIONES NO TUBULARES (CÍCLICAMENTE CARGADAS)..... | 58 |
| 4.3.5. | PARTE D REQUERIMIENTOS ESPECÍFICOS PARA EL DISEÑO DE CONEXIONES TUBULARES (ESTÁTICA O CÍCLICAMENTE CARGADAS) | 59 |
| 4.4. | MODULO 3 AWS D1.1, SECCIÓN 3: PRECALIFICACIÓN DE EPSs | 60 |
| 4.4.1. | GENERALIDADES..... | 60 |
| 4.4.2. | SUBSECCIÓN 3.1 ALCANCE..... | 61 |
| 4.4.3. | SUBSECCIÓN 3.2 PROCESO DE SOLDADURA | 61 |
| 4.4.4. | SUBSECCIÓN 3 COMBINACIONES DE METAL BASE Y METAL DE APORTE | 61 |
| 4.4.5. | SUBSECCIÓN 3.4..... | 62 |

| | |
|---|----|
| 4.4.6. SUBSECCIÓN 3.5 REQUERIMIENTOS DE TEMPERATURA MÍNIMA DE PRECALENTAMIENTO Y ENTRE PASES..... | 63 |
| 4.4.7. SUBSECCIÓN 3.6 LIMITACIONES EN LAS VARIABLES DEL EPS.. | 65 |
| 4.4.8. SUBSECCIÓN 3.7 EPS REQUERIMIENTOS GENERALES | 65 |
| 4.4.9. SUBSECCIÓN 3.8..... | 66 |
| 4.4.10. SUBSECCIÓN 3.9 REQUERIMIENTOS PARA SOLDADURA DE FILETE | 67 |
| 4.4.11. SUBSECCIÓN 3.10 REQUERIMIENTOS PARA SOLDADURA DE TAPÓN Y RANURA..... | 67 |
| 4.4.12. SUBSECCIÓN 3.11 REQUERIMIENTOS COMUNES PARA SOLDADURAS DE JUNTAS DE PENETRACIÓN PARCIAL Y COMPLETA (PJP Y CJP)..... | 68 |
| 4.4.13. SUBSECCIÓN 3.12 REQUERIMIENTOS PARA JUNTAS DE PENETRACIÓN PARCIAL..... | 68 |
| 4.4.14. SUBSECCIÓN 3.13. REQUERIMIENTOS PARA JUNTAS DE PENETRACIÓN COMPLETA. | 69 |
| 4.4.15. SUBSECCIÓN 3.14. TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA (POST WELD HEAT TREATMENT PWHT) | 70 |
| 4.5. MÓDULO 4, AWS D1.1, SECCIÓN 4, CALIFICACIÓN..... | 70 |
| 4.5.1. VISTA GENERAL..... | 70 |
| 4.5.2. PARTE A REQUERIMIENTOS GENERALES | 70 |
| 4.5.3. SUBSECCIÓN 4.1 GENERALIDADES | 70 |
| 4.5.4. SUBSECCIÓN 4.1.2. CALIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL PERSONAL DE SOLDADURA. | 71 |
| 4.5.5. SUBSECCIÓN 4.2..... | 71 |
| 4.5.6. PARTE B ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA. | 72 |
| 4.5.7. SUBSECCIÓN 4.4 TIPOS DE PRUEBAS DE CALIFICACIÓN | 73 |
| 4.5.8. SUBSECCIÓN 4.5..... | 74 |
| 4.5.9. SUBSECCIÓN 4.6 PREPARACIÓN DE EPSs..... | 74 |
| 4.5.10. SUBSECCIÓN 4.7 VARIABLES ESENCIALES..... | 74 |
| 4.5.11. SUBSECCIÓN 4.8. | 75 |
| 4.5.12. SUBSECCIONES 4.9 4.10. | 77 |
| 4.5.13. SUBSECCIONES 4.12 Y 4.13..... | 78 |
| 4.5.14. PARTE C CALIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO. | 78 |
| 4.5.15. SECCIÓN 4.18 | 78 |
| 4.5.16. SUBSECCIÓN 4.18.2 PRODUCCIÓN CALIFICADA EN ESPESORES Y DIÁMETROS | 79 |
| 4.5.17. SECCIÓN 4.20 | 80 |

| | |
|---|----|
| 4.5.18. SUBSECCIÓN 4.21. PREPARACIÓN DE FORMATOS PARA CALIFICACIÓN DE DESEMPEÑO..... | 81 |
| 4.5.19. SUBSECCIÓN 4.30. MÉTODOS DE PRUEBA Y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN PARA LA CALIFICACIÓN DE SOLDADORES Y OPERADORES DE SOLDADURA. | 81 |
| 4.5.20. SUBSECCIÓN 4.31. MÉTODOS DE PRUEBA Y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN PARA LA CALIFICACIÓN DE SOLDADORES DE PUNTOS. | 82 |
| 4.5.21. SUBSECCIÓN 4.32 RE PRUEBAS..... | 82 |
| 4.6. MÓDULO 5, AWS D1.1, SECCIÓN 4, FABRICACIÓN | 82 |
| 4.6.1. INTRODUCCIÓN | 82 |
| 4.6.2. SUBSECCIÓN 5.2 METAL BASE | 83 |
| 4.6.3. SUBSECCIÓN 5.4..... | 85 |
| 4.6.4. SUBSECCIÓN 5.5 VARIABLES DEL EPS..... | 86 |
| 4.6.5. SUBSECCIÓN 5.6 TEMPERATURAS DE PRECALENTAMIENTO Y ENTRE PASES..... | 86 |
| 4.6.6. SUBSECCIÓN 5.7..... | 86 |
| 4.6.7. SUBSECCIÓN 5.8..... | 86 |
| 4.6.8. SUBSECCIONES 5.9 Y 5.10 | 87 |
| 4.6.9. SUBSECCIÓN 5.12 AMBIENTE DE SOLDADURA. | 87 |
| 4.6.10. SUBSECCIÓN 5.15 PREPARACIÓN DEL METAL BASE..... | 88 |
| 4.6.11. SUBSECCIÓN 5.19 | 89 |
| 4.6.12. SUBSECCIÓN 5.21 CONTROL DE DISTORSIÓN Y ENCOGIMIENTO..... | 90 |
| 4.6.13. SUBSECCIÓN 5.24. PERFILES DE SOLDADURA..... | 91 |
| 4.6.14. SUBSECCIÓN 5.26 REPARACIONES..... | 92 |
| 4.6.15. SUBSECCIÓN 5.27 PEENING | 93 |
| 4.6.16. SUBSECCIÓN 5.29 GOLPES DE ARCO. | 93 |
| 4.6.17. SUBSECCIÓN 5.30 LIMPIEZA DE SOLDADURA..... | 93 |
| 4.6.18. CONCLUSIÓN..... | 94 |
| 4.7. MÓDULO 6, AWS D1.1, SECCIÓN 6, INSPECCIÓN | 94 |
| 4.7.1. INTRODUCCIÓN | 94 |
| 4.7.2. ALCANCE | 94 |
| 4.7.3. PARTE A..... | 95 |
| 4.7.4. SUBSECCIÓN 6.2 INSPECCIÓN DE MATERIALES..... | 96 |
| 4.7.5. SUBSECCIÓN 6.5 INSPECCIÓN DE TRABAJO Y REGISTROS. | 96 |
| 4.7.6. PARTE B..... | 97 |
| 4.7.7. SUBSECCIÓN 6.6 OBLIGACIONES DEL CONTRATISTA | 97 |
| 4.7.8. PARTE C CRITERIOS DE ACEPTACIÓN | 98 |

| | |
|---|-----|
| 4.7.9. SUBSECCIÓN 6.9. INSPECCIÓN VISUAL..... | 98 |
| 4.7.10. SUBSECCIÓN 6.12 INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA Y 6.13 INSPECCIÓN ULTRASÓNICA. | 99 |
| 4.7.11. Parte D. Procedimientos de Pruebas No Destructivas. | 100 |
| 4.7.12. SUBSECCIÓN 6.17. PROCEDIMIENTOS RADIOGRÁFICOS... | 101 |
| 4.7.13. PARTE F. PRUEBAS ULTRASÓNICAS EN SOLDADURAS DE RANURA 103 | |
| 4.7.14. SUBSECCIÓN 6.22 EQUIPO DE ULTRASONIDO | 103 |
| 4.7.15. PARTE G. OTROS MÉTODOS DE EXAMINACIÓN | 104 |
| 4.8. MÓDULO 7, AWS D1.1, SECCIÓN 7, SOLDADURA DE ESPÁRRAGOS..... | 104 |
| 4.8.1. INTRODUCCIÓN | 104 |
| 4.8.2. SUBSECCIONES 7.2. REQUERIMIENTOS GENERALES Y 7.3. REQUERIMIENTOS MECÁNICOS. | 105 |
| 4.8.3. SUBSECCIÓN 7.5 TÉCNICA..... | 107 |
| 4.8.4. SUBSECCIONES 7.6 CALIFICACIÓN DE LA APLICACIÓN DE ESPÁRRAGOS Y 7.7 CONTROL DE PRODUCCIÓN..... | 108 |
| 4.8.5. SUBSECCIÓN 7.8 REQUERIMIENTOS PARA INSPECCIÓN DE FABRICACIÓN Y VERIFICACIÓN. | 108 |
| 4.9. MÓDULO 8, AWS D1.1, SECCIÓN 8, REFUERZO Y REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS EXISTENTES..... | 109 |
| 4.9.1. INTRODUCCIÓN | 109 |
| 4.9.2. SUBSECCIÓN 8.2 METAL BASE | 109 |
| 4.9.3. SUBSECCIÓN 8.3. DISEÑO PARA REPARACIÓN Y REFUERZO . | 109 |
| 4.9.4. SUBSECCIÓN 8.4 MEJORA DE LA VIDA A FATIGA..... | 109 |
| 4.9.5. SUBSECCIÓN 8.5 TÉCNICA Y MANO DE OBRA..... | 110 |
| 4.9.6. SUBSECCIÓN 8.6 CALIDAD. | 110 |
| 4.9.7. COMENTARIO FINAL..... | 110 |
| 4.10. MÓDULO 9, AWS D1.1, ANEXOS, COMENTARIOS E INDICE | 111 |
| 4.10.1. ANEXOS..... | 111 |
| 4.10.2. ANEXOS NO MANDATORIOS..... | 111 |
| 4.10.3. COMENTARIOS..... | 112 |
| 4.10.4. ÍNDICE | 112 |
| CAPÍTULO 5 | 113 |
| 5.1. PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN DE VIGAS Y COLUMNAS TIPO I 113 | |
| 5.1.1. INTRODUCCIÓN | 113 |
| 5.2. MATERIAL BASE..... | 114 |
| 5.2.1. ACEROS ESTRUCTURALES..... | 114 |

| | |
|--|-----|
| 5.2.2. CONTROL DE CALIDAD | 116 |
| 5.3 MATERIAL DE APORTE..... | 117 |
| 5.3.1. CONTROL DE CALIDAD | 118 |
| 5.4 PROCESOS DE SOLDADURA..... | 118 |
| 5.4.1. CONCEPTO DE SOLDADURA..... | 118 |
| 5.4.2. SOLDADURA POR ARCO MANUAL | 119 |
| 5.4.3. SOLDADURA POR ARCO CON ALAMBRE CONTINUO Y PROTECCIÓN GASEOSA | 120 |
| 5.4.4. SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO DE TUNGSTENO Y PROTECCIÓN GASEOSA | 125 |
| 5.4.5. SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO..... | 126 |
| 5.4.6. SOLDADURA POR ARCO CON NÚCLEO DE FUNDENTE..... | 128 |
| 5.5 ARMADO DE PERFILES | 129 |
| 5.5.1. CORTE POR PLASMA | 129 |
| 5.5.2. CORTE POR OXI – ACETILENO..... | 130 |
| 5.5.3. SIMBOLOGÍA..... | 132 |
| 5.6 ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA | 134 |
| 5.6.1. VARIABLES ESENCIALES..... | 135 |
| 5.6.2. VARIABLES SUPLEMENTARIAMENTE ESENCIALES | 135 |
| 5.6.3. EJEMPLO DE EPS | 135 |
| 5.7 REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO | 136 |
| 5.8 CALIFICACIÓN DEL PERSONAL DE SOLDADURA..... | 137 |
| 5.8.1. VARIABLES ESENCIALES..... | 138 |
| 5.8.2. RE PRUEBAS | 139 |
| 5.9 ENSAYOS DESTRUCTIVOS..... | 139 |
| 5.9.1. ENSAYOS MECÁNICOS | 139 |
| 5.9.2. ENSAYOS QUÍMICOS..... | 140 |
| 5.9.3. ENSAYOS METALOGRAFÍCOS | 140 |
| 5.10 ENSAYOS NO DETRUCTIVOS..... | 141 |
| 5.10.1. INSPECCIÓN VISUAL..... | 142 |
| 5.10.2. RADIOGRAFÍA..... | 143 |
| 5.10.3. ULTRASONIDO..... | 145 |
| 5.11 PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN | 147 |
| 5.11.1. ENTRADA DE LA MATERIA PRIMA..... | 147 |
| 5.11.2. CORTE Y BISELADO..... | 148 |
| 5.11.3. ARMADO Y PUNTEADO..... | 149 |
| 5.11.4. SOLDADURA | 149 |
| 5.11.5. PINTURA Y ALMACENAMIENTO..... | 150 |

| | | |
|------------|---|-----|
| 5.11.6. | DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCEDIMIENTO | 151 |
| 5.11.7. | PERSONAL NECESARIO | 153 |
| 5.11.8. | MAQUINARIA NECESARIA | 153 |
| 5.11.9. | DISPOSICIÓN GENERAL DE LA PLANTA..... | 155 |
| CAPÍTULO 6 | | 157 |
| 6.1. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 157 |