



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

**IMPLEMENTACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS PARA UNIONES  
SOLDADAS A VIGAS DE ALA ANCHA, CON PATINES ENTRE 1/2 Y 3/4 DE PULGADA DE  
ESPESOR, EN LA EMPRESA METALMECÁNICA INDUSTRIAL**

**Gustavo Adolfo Quiñónez López**

Asesorado por el Ing. Gerardo José Lobos Guerra

Guatemala, septiembre de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS PARA UNIONES  
SOLDADAS A VIGAS DE ALA ANCHA, CON PATINES ENTRE 1/2 Y 3/4 DE PULGADA DE  
ESPESOR, EN LA EMPRESA METALMECÁNICA INDUSTRIAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**GUSTAVO ADOLFO QUIÑÓNEZ LÓPEZ**

ASESORADO POR LA INGA. SINDY MASSIEL GODINEZ BAUTISTA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera
EXAMINADOR	Ing. José Ismael Véliz Padilla
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortíz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**IMPLEMENTACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS PARA UNIONES SOLDADAS A VIGAS DE ALA ANCHA, CON PATINES ENTRE 1/2 Y 3/4 DE PULGADA DE ESPESOR, EN LA EMPRESA METALMECÁNICA INDUSTRIAL**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 24 de octubre de 2016.

**Gustavo Adolfo Quiñónez López**



Guatemala, 28 de julio de 2017

Ingeniero  
Roberto Guzmán Ortiz  
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Guzmán:

Por este medio hago constar que he finalizado con la revisión del trabajo de graduación del estudiante **GUSTAVO ADOLFO QUIÑÓNEZ LÓPEZ**, con registro académico **199711970** y CUI **2528485430101**, el trabajo se titula: **IMPLEMENTACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS PARA UNIONES SOLDADAS A VIGAS DE ALA ANCHA, CON PATINES ENTRE 1/2 Y 3/4 DE PULGADA DE ESPESOR, EN LA EMPRESA METALMECÁNICA INDUSTRIAL.**

En base a lo anterior, lo someto a su consideración a efecto de continuar con el trámite respectivo para su aprobación, sin otro particular,

Atentamente,

  
**Gerardo José Lobos Guerra**  
Msc. Ingeniero Mecánico  
Colegiado 13311

Gerardo José Lobos Guerra  
Msc. Ingeniero Mecánico  
Colegiado 13311  
ASESOR



**USAC**

TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.215.2017

El Coordinador del Área de Materiales de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS PARA UNIONES SOLDADAS A VIGAS DE ALA ANCHA, CON PATINES ENTRE 1/2 Y 3/4 DE PULGADA DE ESPESOR, EN LA EMPRESA METALMECÁNICA INDUSTRIAL**, desarrollado por el estudiante **Gustavo Adolfo Quiñónez López**, CUI **2528-48543-0101**, Registro Académico **199711970** recomienda su aprobación.

**"Id y Enseñad a Todos"**

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Coordinador Área de Materiales  
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, agosto 2017

/aej



**USAC**

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

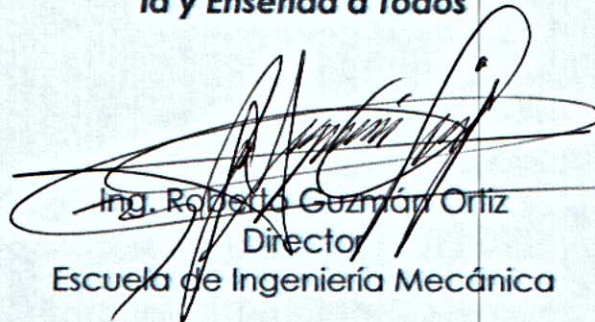
Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.237.2017

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área de Materiales del trabajo de graduación titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS PARA UNIONES SOLDADAS A VIGAS DE ALA ANCHA, CON PATINES ENTRE 1/2 Y 3/4 DE PULGADA DE ESPESOR, EN LA EMPRESA METALMECÁNICA INDUSTRIAL** del estudiante **Gustavo Adolfo Quiñónez López, CUI 2528485430101, Registro Académico 1997-11970** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

**"Id y Enseñad a Todos"**

  
Ing. Roberto Guzmán Ortiz  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala septiembre de 2017

/aej

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

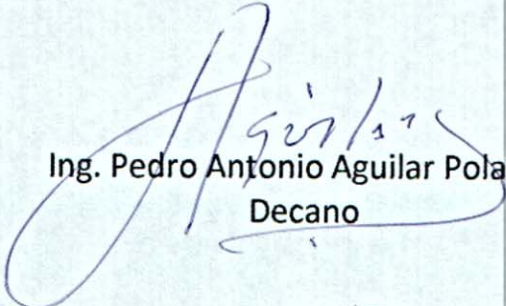


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 388.2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS PARA UNIONES SOLDADAS A VIGAS DE ALA ANCHA, CON PATINES ENTRE  $\frac{1}{2}$  Y  $\frac{3}{4}$  DE PULGADA DE ESPESOR, EN LA EMPRESA METALMECÁNICA INDUSTRIAL,** presentado por el estudiante universitario: **Gustavo Adolfo Quiñónez López** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, septiembre de 2017

/gdech





## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Porque todo lo que tengo se lo debo solo a él.
<b>Mis padres</b>	Marco Tulio Quiñónez Blanco y Sara López García de Quiñónez, por darme la vida.
<b>Mi esposa</b>	Brenda Marisol Luch de Quiñónez, por estar siempre a mi lado.
<b>Mis hijos</b>	Daniel y Daniela Quiñónez, por ser el motor que impulsa mis ganas de superarme.
<b>Mi familia</b>	Mi hermana Glenda Odette Quiñónez López y mi sobrino Aarón Josué Escobar Quiñónez.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

- Dios** Por ser el dador de vida y de la sabiduría y por permitirme alcanzar este éxito profesional y personal.
- Mis padres** Marco Tulio Quiñónez Blanco y Sara López García de Quiñónez, por compartir su sabiduría, su amor y el apoyo que me brindaron.
- Mi esposa** Brenda Marisol Luch de Quiñónez, por ser una maravillosa mujer, por creer y confiar en mí pero sobre todo por amarme y apoyarme en los momentos más difíciles de mi vida (te amo).
- Mis hijos** Daniel y Daniela Quiñónez, por comprenderme al no poder estar con ustedes en ciertos momentos que demandaba mis estudios.
- Mi hermana** Glenda Odette Quiñónez López, a ti gordita por ser al igual que nuestros padres un apoyo emocional para alcanzar mis metas.
- Mis primos** William Alfredo Quiñónez y José Rubén Quiñónez (q. d. e. p.) por ser como mis hermanos y contar con su ayuda y apoyo en muchas etapas de mi vida.

**Mis amigos**

Gerardo José Lobos Guerra, Iván de Jesús Figuera, Ingrid Roxana Madrid Arriola, Karla Nohemí Álvarez Palacios, Christian Saúl Ramírez Zamora, Eduardo Andrade Castellanos, Christopher Albany López Paiz, Eduardo de León, Héctor Abraham Méndez, el resto de los Místicos y a todos mis amigos en general que me brindaron su cariño y apoyo e hicieron de mi vida universitaria una excelente experiencia.

**Metal, S. A.**

Empresa que me abrió sus puertas y me permitió realizar el presente documento de investigación, dándome la oportunidad de aprender pero sobre todo conocer muchas personas que fueron importantes para la culminación del presente documento.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS .....	V
GLOSARIO .....	VII
RESUMEN.....	IX
OBJETIVOS.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	XIII
1. ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1. Descripción de la empresa.....	1
1.2. Procedimiento actual de soldadura en las uniones de interés.....	2
1.3. Qué es un WPS.....	3
2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MAQUINARIA Y PERFIL DEL SOLDADOR .....	5
2.1. Soldadura por arco eléctrico (GMAW).....	5
2.2. Máquina <i>Deltaweld</i> 452/460V.....	7
2.3. Técnico soldador .....	10
3. MARCO TEÓRICO.....	15
3.1. Acero estructural .....	15
3.1.1. Aceros estructurales.....	28
3.1.2. Desventajas del acero estructural.....	31
3.1.3. Acero norma ASTM A992.....	31
3.1.4. Acero norma ASTM A36.....	32

3.2.	Materiales de aporte.....	32
3.3.	Metalurgia de la soldadura .....	37
3.4.	Técnica de aplicación de la soldadura .....	46
4.	PRECALIFICACIÓN DEL WPS .....	55
4.1.	Proceso de la soldadura.....	55
4.2.	Definición del tipo de soldadura a emplearse (soldadura de filete) .....	59
4.3.	Combinación de metal base/metal de aporte .....	66
4.4.	Requerimientos de la temperatura mínima de precalentamiento.....	68
4.5.	Requerimientos generales de un WPS .....	71
4.6.	Preparación del WPS .....	73
5.	CALIFICACIÓN.....	77
5.1.	Alcance .....	77
5.2.	Requerimientos para WPS y calificación del desempeño del personal de soldadura.....	78
5.3.	Métodos de ensayo y criterios de aceptación para la calificación del WPS.....	79
	CONCLUSIONES.....	81
	RECOMENDACIONES .....	83
	BIBLIOGRAFÍA.....	85
	APÉNDICES.....	89

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Soldadura con proceso GMAW .....	6
2.	Ciclo de trabajo <i>Deltaweld</i> 452/460V .....	8
3.	Opciones de voltaje-amperaje.....	9
4.	Filtro de lentes para uso de protección .....	14
5.	Comportamiento del acero según su contenido de carbono .....	16
6.	Estado líquido de los metales .....	20
7.	Estructuras cristalinas .....	20
8.	Diagrama hierro – carbono.....	22
9.	Significado de la nomenclatura de materiales de aporte.....	34
10.	Material de aporte precalificado .....	36
11.	Pileta con forma elíptica y pileta con forma de gota.....	40
12.	Soldaduras con fisuración en frío.....	43
13.	Relación de cordones de soldadura en ancho y profundidad.....	45
14.	Bisel en forma de V a 45° sin soldadura .....	47
15.	Bisel en forma de V a 45° con soldadura .....	47
16.	Garganta de soldadura simétrica .....	60
17.	Garganta de soldadura asimétrica .....	61
18.	Garganta de soldadura asimétrica .....	62
19.	Leyenda para figuras 3.3 y 3.4.....	64
20.	Detalle de juntas de canal soldadas precalificadas como CJP .....	65
21.	Materiales de aporte precalificados.....	67

## TABLAS

I.	Propiedades mecánicas de los aceros .....	18
II.	Clases de acero y sus posibles aplicaciones .....	30
III.	Metales base y los metales de aporte.....	35
IV.	Composición de acero A36.....	49
V.	Composición de acero A992 .....	49
VI.	Temperatura mínima de precalentamiento precalificado .....	51
VII.	Temperatura mínima de precalentamiento precalificado .....	52
VIII.	Temperatura mínima de precalentamiento precalificado .....	53
IX.	Combinación de metal de base y metal de aporte.....	66
X.	Temperatura mínima de precalentamiento precalificado .....	68
XI.	Requerimientos para un WPS precalificado .....	72
XII.	Modelo de WPS para empresa metal S.A. ....	78

## LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
S	Azufre
C	Carbono
Ce	Carbono equivalente
Cu	Cobre
Cr	Cromo
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
P	Fósforo
°C	Grados celsius
Psi	Libras / pulgada cuadrada
Mo	Molibdeno
Nb	Niobio
Ni	Níquel
%C	Porcentaje de carbono
Si	Silicio
V	Vanadio
ZAC	Zona afectada por el calor





## GLOSARIO

<b>Aleado (de aleación)</b>	Mezcla homogénea, de propiedades metálicas, que está compuesta de dos o más elementos, de los cuales, al menos uno es un metal.
<b>ASTM</b>	Sociedad Americana de Ensayos de Materiales ( <i>American Society of Testing MAterials</i> )
<b>Austeníticos</b>	De austenita, es una forma de ordenamiento del acero. esta es la forma estable del hierro puro a temperaturas que oscilan entre los 723 a 1 400 °C.
<b>AWS</b>	Sociedad Americana de Soldadura ( <i>American Welding Society</i> )
<b>CJP</b>	Junta de Penetración Completa ( <i>Complete Joint Penetration</i> )
<b>Ductilidad</b>	Es una propiedad que presentan algunos materiales, como las aleaciones metálicas que les permite, bajo la acción de una fuerza, deformarse sosteniblemente sin romperse.
<b>Estructura cristalina</b>	Es una forma sólida en la que los constituyentes, átomos, moléculas o iones, están empaquetados de

manera ordenada y con patrones de repetición que se extienden en las tres dimensiones del espacio.

**Fragilidad**

Característica del acero, relacionada con su dureza y que se define como la capacidad de un material de fracturarse con escasa deformación.

**Soldabilidad**

Medida de la capacidad de un metal para ser soldado con éxito.

**Templable**

Capacidad de admitir temple o crear estructuras frágiles.

**Tenacidad**

Capacidad de un material de absorber energía antes de alcanzar la rotura.

**ZAC**

Zona afectada por el calor debido a la soldadura.

**ZAT**

Zona afectada térmicamente.

## RESUMEN

La industria del acero estructural ha evolucionado de tal forma que se ha vuelto una necesidad estandarizar y profesionalizar todo los procesos, entre ellos la soldadura; institución es la encargada *American Welding Society* (AWS) que establece los parámetros necesarios.

AWS D1.1 es el código base que indica los pasos, los procesos y el análisis para la realización de cualquier soldadura para una estructura de acero.

Este trabajo plantea la realización de soldaduras a tope en la unión de patines de vigas entre  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{3}{4}$  de pulgada de espesor.

Esto se realizó con base en herramientas técnicas indicados por AWS D1.1 y criterios básicos de metalurgia, que son explicados de manera sencilla, a partir de los fundamentos básicos del acero y sus características y los procesos para calificación y aprobación de las soldaduras de interés; el código marca parámetros para el proceso de la soldadura y para el técnico soldador, por lo tanto, se escribe una metodología para comprender las instrucciones proporcionadas por la norma.

Se estudian los aspectos del código para realizar el proceso de soldadura; el técnico soldador solo deba aportar su habilidad. Con esta información se elaborarán los formularios para describir el proceso sin perder de vista los parámetros establecidos por la AWS.

Se recomienda seguir detalladamente la información descrita en este trabajo en los formularios WPS que se realizaron literalmente según los criterios del código AWS D1.1.

# OBJETIVOS

## General

Realizar una propuesta para la implementación del procedimiento WPS para uniones soldadas de patines de vigas entre  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{3}{4}$  de pulgada de espesor en la empresa Metalmecánica Industrial, S. A.

## Específicos

1. Definir los fundamentos básicos una soldadura en acero dulce o con bajo contenido de carbono.
2. Explicar de manera práctica el beneficio de realizar este tipo de uniones por medio de un WPS.
3. Demostrar la importancia de un precalentamiento adecuado de la pieza a soldar.
4. Explicar la importancia de implementar un procedimiento que se pueda para el control de calidad en soldadura estructural.
5. Elaborar procedimientos de soldadura WPS según los criterios de soldabilidad del acero que tienen un punto de fluencia  $f_y = 36000$ ,  $f_y = 50000$  respectivamente.

6. Establecer una base para que la empresa Metal Mecánica Industrial S. A. pueda realizar y documentar un proceso de soldadura de forma profesional.

## INTRODUCCIÓN

La calificación de soldaduras estructurales es un proceso que ha tomado mucha importancia y demanda en nuestro medio; se requiere de que las soldaduras ejecutadas en una amplia variedad de aplicaciones de ingeniería cumplan con los requisitos requeridos en códigos y normas de calificación aplicada, debido a la profesionalización de la industria y a la necesidad de cumplir con normativas y/o códigos para alcanzar los estándares de calidad convenientes. Dicho código debe elegirse de acuerdo al tipo de servicio que prestará la soldadura y a las características del material a soldar.

La resistencia del acero depende de su contenido de carbono, anudada a esta resistencia también se incrementan algunas características negativas en el material: la fragilidad y su tendencia al temple por mencionar algunos aspectos de interés según el propósito de un acero estructural y su unión por medio de soldadura. Entender, de manera básica, algunos aspectos básicos de la metalurgia y del acero, facilita alcanzar los estándares de calidad adecuados en una soldadura estructural.

Para este trabajo se analiza la soldabilidad de uniones a tope en patines de vigas de acero de A36, acero A992 G50 según la norma AWS D1.1 que regula las uniones soldadas en la ingeniería estructural.

En nuestro país este tipo de información es de difícil acceso, en consecuencia, se realiza este documento con el objetivo de apoyar la difusión de esta información; se enumeran los pasos para la calificación de una buena soldadura según los principios de AWS D1.1





# 1. ASPECTOS GENERALES

## 1.1. Descripción de la empresa

Metal, S. A. es una empresa que pertenece al Grupo Nabla, empresa que se dedica a la fabricación de estructuras metálicas con la aplicación de diferente proceso de soldadura por arco eléctrico. Metal, S. A. actualmente, se encuentra ubicada en 0 avenida 4-60 colonia el Najarito zona 1, Villa Nueva. Es una empresa con un largo recorrido dentro del campo de la estructura metálica; actualmente, el proceso inicia desde el presupuesto, diseño estructural, dibujo, fabricación y montaje.

En el mercado se dispone de un gran número de tipos y grados de acero estructural; sin embargo, se estudiarán los aceros normas A36 y A992, con fluencias de 36 000 psi y 50 000 psi respectivamente. Estos aceros son la materia prima para la elaboración de la estructura que se fabrica dentro de la empresa, detalladamente el acero A36 utilizado para patines de vigas armadas (fabricadas a partir de láminas) y el acero A992 para perfiles Wf rolados en caliente.

Como parte del proceso de fabricación que se realiza en Metal, S. A. se cuenta con uniones soldadas en acero estructural de varios tipos y para varias necesidades; sin embargo, la soldadura de interés de este documento será la unión a tope de dos patines con soldadura de penetración completa con bisel en V para secciones gruesas. Normalmente, en la unión a tope de láminas de más de ½", el proceso de soldadura es necesario que sea antecedido por un biselado el cual facilitará la penetración del material de aporte y mejorará la

calidad de la unión de las piezas estructurales. La soldadura es realizada con proceso GMAW (*gas metal arc welding*), dicho proceso utiliza un gas inerte y alambre como material de aporte; a este proceso se le conoce como soldadura semiautomática.

La empresa cuenta con máquinas específicas para realizar este trabajo. No se entrará en detalles técnicos, esta información se detallará en un capítulo posterior; dichas máquinas pertenecen a la marca *MILLER*, serie *DELTAWELD 452*.

Luego de terminar la unión de dos elementos estructurales por medio de una soldadura a tope, se realizan pruebas no destructivas a cierto número de uniones como control interno de su calidad.

La empresa posee un personal altamente calificado pero no cuenta con ningún procedimiento por escrito que se encuentre normado para la realización de la soldadura ni normas de seguridad; de momento, sus controles de calidad están basados en criterios de personal con mucha experiencia pero no se tiene la documentación profesional que dé el respaldo respectivo de una manera profesional o como se debiese manejar a nivel de industria.

## **1.2. Procedimiento actual de soldadura en las uniones de interés**

Todo el proceso inicia desde la aprobación del presupuesto; luego, el ingeniero estructural realiza los diseños de la estructura apoyándose en un *software* de última generación para corroborar la aprobación del material y la ubicación de todos los elementos según las cargas de la estructura final. En el próximo paso en el proceso entra en función el departamento de dibujo que realiza todas las órdenes de fabricación de todas las piezas que darán forma a

la estructura final; por último, luego de impresas las órdenes de fabricación, son trasladadas a la planta de fabricación donde se desarrolla una gran variedad de procesos de soldadura para las diferentes formas y especificaciones de elementos estructurales que formarán parte de la estructura final; en este caso se enfocará en las uniones soldadas a vigas de ala ancha, con patines entre  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{3}{4}$  de pulgada de espesor.

### **1.3. Qué es un WPS**

La calidad de las soldaduras en temas estructurales es de gran importancia, de esto depende directamente el comportamiento de una estructura bajo los esfuerzos de servicio. Para cualquier soldadura es necesario estar apegado a la norma de interés; como cualquier proceso se debe contar con una planificación y el proceso de soldadura necesita contar con la descripción de todas las variables, procedimientos, técnicas y método para utilizarse antes de iniciar cualquier proceso de soldadura.

Por tal razón, surge la necesidad de crear un documento que describa todos estos aspectos; las AWS sugieren llamar a este documento como WPS. De tal manera se pretende la creación de un modelo estrictamente orientado a la empresa Metal, S. A.

En la actualidad, las industrias de países desarrollados han institucionalizado la utilización de este tipo de documentos diseñados por el ingeniero para realizar trabajos de soldadura; actualmente, existen dos métodos para realizar estos documentos: los WPS precalificados y los WPS no precalificados.

Los WPS no precalificados necesitan un documento adicional llamado PQR que es una prueba que califica la forma y el trabajo realizado. En este caso, la información se limitará a explicar sobre WPS precalificados por el código AWS D1.1, esto se debe a que la empresa basa todos sus diseños en elementos que estén normados y previamente precalificados.

Para apegarse a los procedimientos solicitados por AWS, previo a comenzar un proceso de soldadura, debe existir el documento en mención en el apartado anterior; se detallarán los procedimientos del tipo de unión soldada que se debe realizar; es decir, es una herramienta preparada y planificada que debe aportar claramente los detalles y procedimiento a seguir para garantizar que el trabajo a realizar sea adecuado y de la calidad esperada.

Un WPS, (*welding procedure specification*) es la especificación del procedimiento de soldadura que se utilizará; es el primer requisito para que la soldadura pueda ser realizada. El documento contará con toda la información sugerida por el código AWS D1.1 por lo tanto su diseño ha sido planificado únicamente con materiales precalificados.

## **2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MAQUINARIA Y PERFIL DEL SOLDADOR**

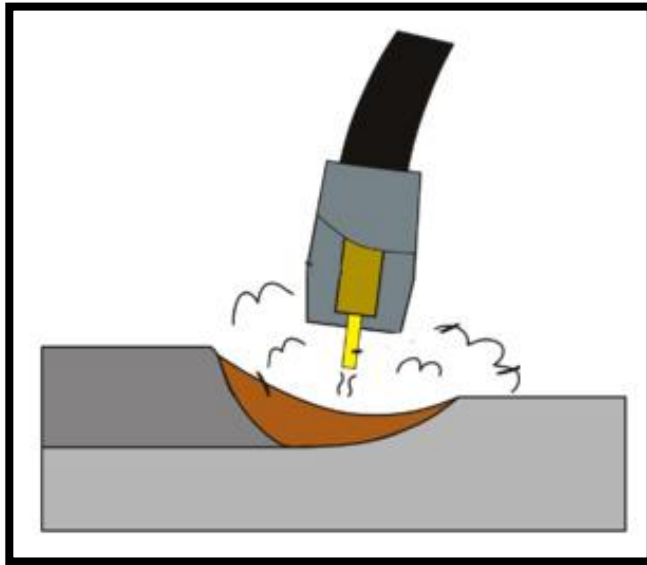
### **2.1. Soldadura por arco eléctrico (GMAW)**

La soldadura producida por gas y un arco eléctrico en un metal es más conocida como GMAW, por sus siglas en inglés (*gas metal arc welding*); en este proceso se emplea con material de aporte continuo; se realiza utilizando gas inerte que funciona como aislante y protege la soldadura de contaminantes que puede haber en el ambiente que rodea a la soldadura; el gas cumple la misma función que desempeña el revestimiento en una varilla de electrodo común.

Los controles manuales que el soldador necesita para realizar este proceso semiautomático son la velocidad con que el material de aporte es entregado para su fusión, la dirección de desplazamiento y el posicionamiento de la pistola. El gas que comúnmente se utiliza es dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>); también, puede utilizarse cualquier otro gas que sea inerte; trabajar con este proceso representa algunos aspectos negativos comparándolo con el proceso SMAW sin mencionar que el equipo es más costoso y de difícil transporte.

Entre los benéficos de este proceso es que la mayoría de los metales comerciales pueden ser trabajados; también, puede ser utilizado en una gama muy amplia de metales: de aceros inoxidable, aluminio, aceros al carbono, hierro, etc. En la siguiente figura ilustra una soldadura por proceso GMAW.

Figura 1. **Soldadura con proceso GMAW**



Fuente: *Manual del operador Miller.*

[www.manualsbase.com/es/manuals/3934/197/miller\\_electric/welding\\_system/](http://www.manualsbase.com/es/manuals/3934/197/miller_electric/welding_system/). Consulta: 3 de enero de 2017.

El material de aporte utilizado en este proceso es de diámetros que van desde 0,9 mm hasta 1,6 mm o su equivalencia en pulgadas 1/16"; por este factor, se deben variar las velocidades de alimentación del material de aporte o alambre; en algunos casos, pueden ser bastante altas estas velocidades; aproximadamente, de 340 mm/seg.

- Protección gaseosa: es la que utiliza un gas para proteger la fusión de aire con la atmósfera, según la naturaleza del gas que se utiliza se le conoce como MIG y si es un gas inerte se le llama MAG. Como se ha descrito, en el proceso se forma una capa gaseosa que protege el metal fundido mientras es depositado.

- Protección por escoria: la escoria que se forma en la soldadura tiene como función principal proteger el metal fundido una vez que se haya disipado la capa gaseosa; adicional, absorbe impurezas que se hayan depositado en el metal y evitan un enfriamiento acelerado.
- Aporte de elementos a la aleación: la escoria aporta algunos elementos a la aleación durante la unión que se da entre los metales fundidos; dichos elementos resultan ser sumamente importantes como parte de las características principales que se producen al realizar uniones entre piezas.

## **2.2. Máquina *Deltaweld* 452/460V**

Actualmente, en el mercado de la industria de la soldadura se puede contar con una gran variedad de máquinas semiautomáticas que pueden ser utilizadas para el proceso en mención; en este caso la información que se brinda se enfoca específicamente en la línea *Deltaweld* 452/460V que pertenece a la marca *Miller*.

Esta máquina es reconocida a nivel mundial y es importante conocer sus funciones pero quizás la más relevante es su ciclo de trabajo, ya que este factor puede influir de manera directa en el desempeño del proceso GMAW, por lo que se considera importante explicar este tema.

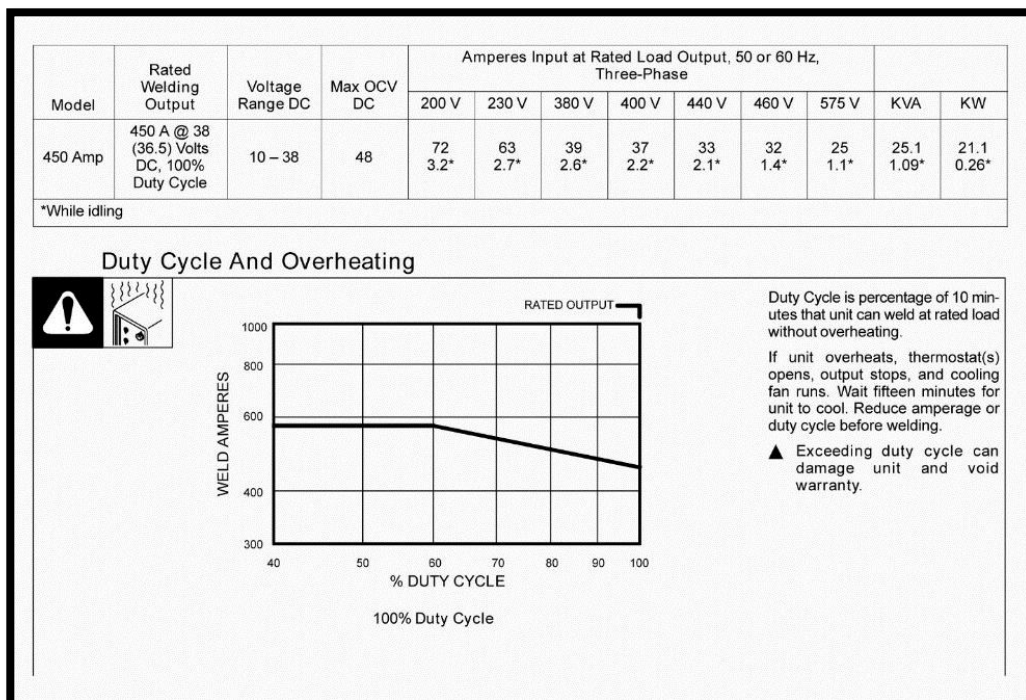
El fabricante muestra una gráfica del ciclo de trabajo de la máquina; para entender dicha gráfica se debe tener en mente que este sistema de medición fue realizado con dos variables: la primera es el tiempo y la segunda, la corriente eléctrica. La variable tiempo está en una escala de un máximo de 10 minutos; la segunda variable depende de la capacidad de la máquina, pero se encuentra en dimensionales de corriente eléctrica más conocida como amperios.



Según el significado de las variables de la gráfica del ciclo de trabajo, resultará fácil entender que un ciclo de trabajo del 100 % representa que se podrá soldar ininterrumpidamente durante 10 minutos a un determinado amperaje. Si el amperaje aumenta se debe reducir el tiempo de uso continuo de los 10 minutos que se pueden trabajar. Para ejemplificarlo, una máquina con un ciclo de trabajo de 60/40 a 250A trabajará a 250 amperios durante 6 minutos continuos y deberá descansar los 4 minutos restantes de los 10 que permite el ciclo.

Para ilustrar esta explicación se coloca la siguiente gráfica del ciclo de trabajo de la máquina *Deltaweld 452/460V* sugerido por el fabricante.

Figura 2. **Ciclo de trabajo *Deltaweld 452/460V***



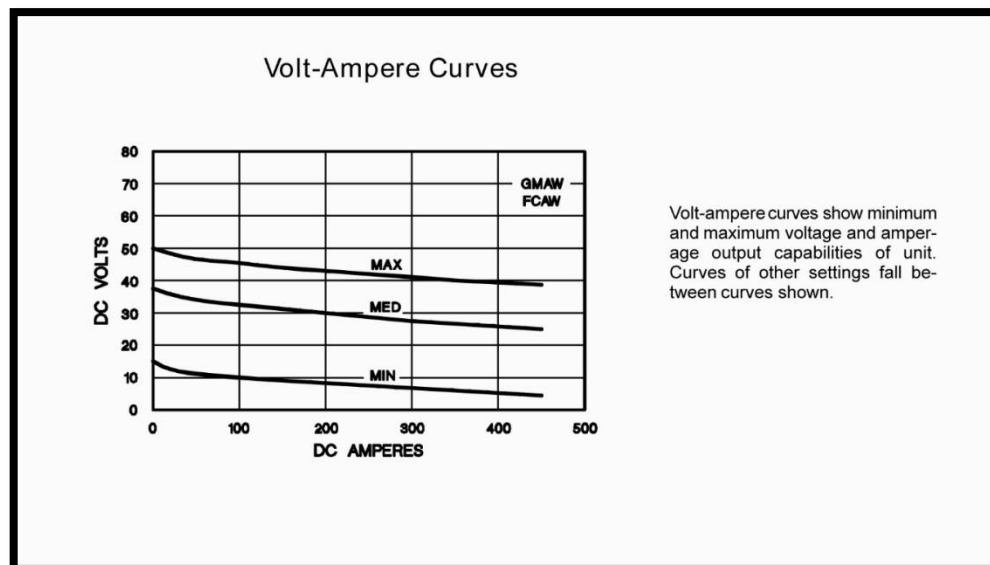
Fuente: *Auto-Deltaweld 452 / 460V*. [img1.wfrcdn.com/docresources/1865/14/142289.pdf](http://img1.wfrcdn.com/docresources/1865/14/142289.pdf).

Consulta: 6 de enero de 2017.

Como se ha mencionado, esta máquina es reconocida mundialmente en la industria de la soldadura y su fama se la ha ganado por la eficiencia y optimización de los recursos con los que puede contar: puede ser utilizada con materiales de aporte de diferentes diámetros.

La máquina puede ser configurada en tres modalidades según el fabricante que dependerá del grosor del material base que se pretenda unir; las dos variables que utiliza esta configuración serán: voltaje de salida que controla la velocidad con la que se entrega el material de aporte y amperaje que es la corriente eléctrica y representa la fuerza de trabajo de la máquina. En la siguiente imagen se muestra la gráfica de voltaje-amperaje de salida; es preciso mencionar que estas dos variables en esta etapa del proceso son las que retroalimentan un WPS.

Figura 3. Opciones de voltaje-amperaje



Fuente: *Auto Deltaweld 452*. [img1.wfrcdn.com/docresources/1865/14/142289.pdf](http://img1.wfrcdn.com/docresources/1865/14/142289.pdf). Consulta: 15 de enero de 2017.

Un detalle importante de mencionar es que esta máquina puede trabajar con el material de aporte en dos posiciones de corriente:

- DCEN: Corriente Directa Electrodo negativo
- DCEP: Corriente Directa Electrodo positivo

Esta información servirá para completar el formulario WPS en las especificaciones del tipo corriente o sentido en que se trabajará el electrodo.

### **2.3. Técnico soldador**

El técnico soldador debe ser una persona que además de saber aplicar una soldadura sepa identificar las medidas de seguridad que implica este proceso. Por lo tanto, es importante que al realizar cualquier tipo de trabajo donde se involucren altas temperaturas sea necesario que el personal reciba la inducción apropiada y, sobre todo, que tenga su respectiva capacitación en el uso del equipo de protección personal; al realizar un procedimiento de soldadura es de vital importancia tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Una conexión eléctrica apropiada para el equipo que se utilizará.
- Contar con todo el equipo de seguridad personal (gafas protectoras, cascos, caretas para soldadura, guates, chaparreras y sobre todo botas industriales).
- El manejo adecuado del equipo.
- La realización correcta del procedimiento según las indicaciones.

Si fuese necesario movilizar algún equipo que involucre tensión, primero debe ser desconectado de la red de alimentación de energía; paso siguiente se debe recoger de forma ordenada y desconectar los cables que generan arco eléctrico, aunque el movimiento sea únicamente para limpieza. Si fuese necesario hacer alguna reparación, la debe hacer únicamente por personal capacitado, cuando los cables del equipo opongan resistencia a su manejo deben ser manipulados con precaución y bajo ningún motivo se debe tirar de estos ni ser arrastrados, porque esto puede ocasionar cortes de filamentos en los conductores o producir un desgaste acelerado su revestimiento o aislante.

El equipo que el técnico soldador utiliza viene formado por un circuito primario que posee elementos con los que se logra formar un eléctrico, la tensión de trabajo de 15 a 40 voltios aproximadamente; sin embargo, la tensión cuando el equipo trabaja en vacío, es decir, sin establecer el arco, puede ser mucho mayor. Por esta razón, el técnico soldador debe tener la capacidad de identificar de manera visual algún desperfecto en los cables que generan la tensión eléctrica. Un cable en mal estado constituye un gran riesgo para la integridad física del personal que hace uso de estos equipos; al ser detectado algún desperfecto o una falla en la continuidad del circuito debe ser corregido de forma inmediata; esto no lo hace el técnico soldador ya que para ello se cuenta con un personal capacitado para la elaboración de este tipo de trabajos.

En algunos casos, los conductores de puesta a tierra de las herramientas eléctricas utilizadas cerca de los equipos de soldar suelen calentarse tanto (por efecto de las corrientes inducidas por la soldadura) que llegan a fundirse sin que se note. Por ese motivo es necesario:

- Conectar directamente el cable de tierra sobre la pieza a soldar.
- Utilizar herramientas eléctricas con doble aislamiento.

- Colocar un aislante intermedio cuando la pieza a soldar se encuentra colgada.

Es vital cortar la energía cuando se desea realizar algún tipo de manipulación sobre la máquina, incluso moverla. No es recomendable dejar conectada la máquina a la red que proporciona la energía (toma industrial) cuando se suspenda el trabajo por largos períodos de tiempo. Adicional, no se debe admitir que los cables descansen sobre charcos de agua o cualquier otro líquido, superficies calientes, rebordes filosos, etc., o cualquier lugar que pueda poner en riesgo la integridad del equipo y, aún más importante, poner en riesgo la integridad física del técnico soldador.

Derivado de esta circunstancia, el técnico soldador debe contar con la protección personal necesaria, fundamental para evitar accidentes sobre todo eléctricos; es necesario evitar que la tensión en vacío sea descargada por el cuerpo del técnico soldador, por lo tanto es importante cumplir con los siguientes aspectos o medidas seguridad:

- Llevar puestos guantes protectores.
- Protección para brazos, piernas.
- Cambiar portaelectrodos o tenazas de tierra en mal estado.
- Verificar que los aislantes se encuentren en condiciones óptimas.
- No apoyar ninguno de los cables de la máquina sobre materiales que sean conductores.
- Tener presente que para cualquier tipo de operación siempre se debe desconectar la máquina de la fuente de energía.
- En todo momento, estar concentrados y seguir todas las indicaciones que brinda las normas de seguridad industrial.

Las recomendaciones son fundamentales pero nada servirá sino se toma en cuenta el equipo de protección personal con el que debe contar el técnico soldador siguiente:

- Pantalla de protección de cara y ojos
- Guantes de manga larga
- Mandil de cuero
- Polainas de apertura rápida
- Calzado de seguridad
- Delantal de cuero
- Protección respiratoria

Adicional a los peligros que representa el estar en contacto con equipo eléctrico, pueden existir otros riesgos, por ejemplo, la energía electromagnética la cual es emitida por un arco eléctrico, generalmente se le conoce como energía radiante o radiación de luz, este tipo de energía puede ocasionar daño en los ojos del técnico soldador; todo los equipos para la protección de los ojos deben tener un lente con un número de oscurecimiento que proporcione una debida protección. El oscurecimiento de estos cristales de protección se identifica con un número que indica la intensidad de radiación de luz que permite pasar por el filtro del lente a los ojos del técnico soldador; en otras palabras entre mayor sea el número de oscurecimiento, más oscuro es el filtro del lente y menos radiación de luz pasará.

Es necesario hacer la siguiente recomendación: cuando exista la probabilidad de que objetos vuelen hacia los ojos y cara del técnico soldador se debe seleccionar el aparato protector de doble lado. La protección en ambos lados de la cara reduce el riesgo de ciertos peligros: fragmentos de moler y alambres de moler hagan contacto con los ojos o cara del técnico soldador. Los

trabajadores que utilizan una máscara de soldadura con un lente oscuro es recomendable que también utilicen gafas con protección lateral o gafas protectoras.

En la siguiente tabla se muestran los tipos de filtros a utilizar en la soldadura para la protección adecuada y evitar daños en los ojos a corto y largo plazo.

Figura 4. **Filtro de lentes para uso de protección**

Operación	Tamaño del electrodo - pulgadas (milímetros)	Arco actual (Amperios)	Número de oscurecimiento mínimo mandado por la OSHA	Número de oscurecimiento mínimo recomendado por ANSI/AWS *
Soldadura con metal y arco protegido (SMAW, por sus siglas en inglés)	Menos de 3/32 (2.4)	Menos de 60	7	-
	3/32-5/32 (2.4-4.0)	60-160	8	10
	Más de 5/32-1/4 (4.0-6.4)	Más de 160-250	10	12
	Más de 1/4 (6.4)	Más de 250-550	11	14

Fuente: *Protección de los ojos contra la energía radiante.*

[https://www.osha.gov/Publications/OSHA\\_FS-3588.pdf](https://www.osha.gov/Publications/OSHA_FS-3588.pdf). Consulta: 21 de enero de 2017.

En resumen se debe evitar soldar con la ropa inapropiada, utilizar equipo completo de seguridad personal y, sobre todo, evitar por tiempos prolongados la exposición a los humos de soldadura porque contienen sustancias tóxicas cuya inhalación puede ser nociva; por este motivo se debe soldar siempre en lugares bien ventilados y, si es necesario, disponer de sistemas de extracción localizada.

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1. Acero estructural**

Los tipos de aceros utilizados en la construcción de estructuras tienen dos características principales: alta resistencia mecánica y alta ductilidad.

Una aleación se describe como la unión de dos o más elementos, donde debe existir al menos un elemento que sea metal; el acero es una aleación que está formada por hierro y carbono, este último puede estar incluido en la aleación en un rango o porcentaje que va de 0,08 % a un 2,1 %; por lo general, un acero dulce como se suele llamar al acero soldable no supera el 1 %.

Dentro de las aleaciones existen algunos elementos denominados impurezas porque no son útiles para la conformación de la estructura molecular y tampoco aporta alguna propiedad que beneficie la aleación. También, existen ciertos elementos que se agregan intencionalmente para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de la aleación, a este tipo de estructura se le conoce como aceros aleados.

El acero como material demuestra una alta resistencia al desgaste y una excelente ductilidad; por tal razón resulta ideal como materia prima para la construcción en edificios de acero o como refuerzo en concreto reforzado.

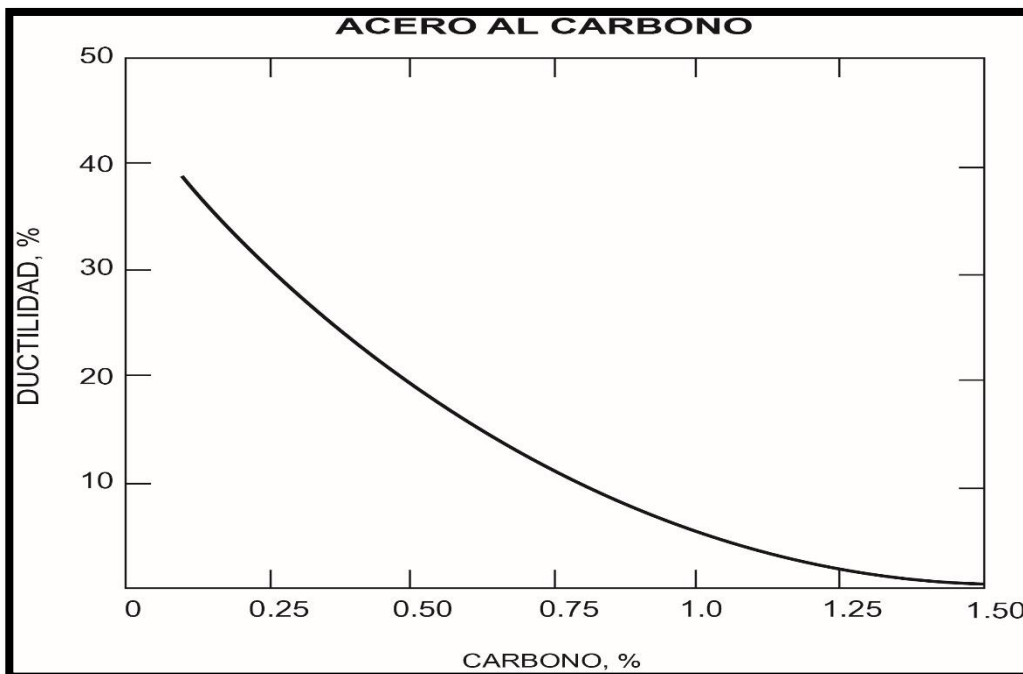
El acero, como se explicó, está formado por varios elementos, los más relevantes son el hierro y el carbono; este último elemento determina qué clase de acero será el producto final: el contenido de carbono en un acero aumenta la



resistencia a la tracción, tenacidad, fragilidad y dureza. Una carga grande de carbono puede dar como resultado que el acero aleado se vea afectado en su ductilidad; debido a esto el contenido de carbono se limita para los aceros estructurales ya que la ductilidad es una propiedad muy importante en los elementos de acero para la construcción moderna.

En la siguiente figura se muestra gráficamente el comportamiento del acero según su contenido de carbono.

Figura 5. **Comportamiento del acero según su contenido de carbono**



Fuente: *Boquillas para cortar con oxígeno.*

[http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/080/htm/sec\\_6.htm](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/080/htm/sec_6.htm). Consulta:

30 de enero de 2017.

Otra característica del acero es la resistencia al desgaste, una de las propiedades mecánicas que forman parte del acero, los aceros; de alta resistencia fueron desarrollados durante los últimos 30 años, los materiales más utilizados para las estructuras de acero en la actualidad. Se trata de conseguir una mayor resistencia mediante la adición de ciertos elementos de aleación y tratando de mantener los porcentajes de carbono bajos.

Todos los aceros estructurales son aceros soldables y algunos han aumentado la resistencia a la corrosión. Las normas de acero más comunes hoy en día para perfiles Wf es A992 y para placas es A36.

La resistencia de un acero es proporcional al contenido de carbono que posea y esto da margen a pensar que al agregarle más carbono a la aleación se obtendrá un mejor acero que lo hará más resistente; esto no es del todo falso pero no hay que perder de vista que al incrementar el porcentaje de carbono este aumenta su dureza y pierde ductilidad, característica vital en temas estructurales; también, pierde la capacidad de ser soldado con facilidad que es un gran inconveniente para los intereses del desarrollo de este documento.

En la mayoría de los casos, al hacer cálculos estructurales, la resistencia del acero se toma como su resistencia a la fluencia, no es muy difícil predecir que el elemento estructural dejará de cumplir con su función cuando su comportamiento deje de ser elástico y sus deformaciones dejen de ser proporcionales a su esfuerzo.

En la siguiente tabla se detalla ciertas propiedades mecánicas de los aceros más comunes en el mercado de la construcción.

Tabla I. **Propiedades mecánicas de los aceros**

Normas Standards Norma	Calidades Grades Tipi	Límite elástico $R_e$	Resistencia a la tracción $R_m$	Ratio $R_e/R_m$	Alargamiento mínimo A	
					min. 200 mm [8 in.]	min. 50 mm [2 in.]
		MPa [ksi]	MPa [ksi]		%	%
A36-05	Grade 36*	≥250 [36]	400-550 <sup>2)</sup> [58-80]		20 <sup>1)</sup>	21 <sup>2)</sup>
A572-07	Grade 42*	≥290 [42]	≥415 [60]		20 <sup>1)</sup>	24 <sup>1)2b)</sup>
	<b>Grade 50</b>	≥345 [50]	≥450 [65]		18 <sup>1)</sup>	21 <sup>1)2b)</sup>
	Grade 55*	≥380 [55]	≥485 [70]		17 <sup>1)</sup>	20 <sup>1)2b)</sup>
	Grade 60*	≥415 [60]	≥520 [75]		16 <sup>1)</sup>	18 <sup>1)2b)</sup>
	Grade 65*	≥450 [65]	≥550 [80]		15 <sup>1)</sup>	17 <sup>1)2b)</sup>
A588-05	Grade B*	≥345 [50]	≥485 [70]		18 <sup>1)</sup>	21 <sup>1)2b)</sup>
	Grade C*	≥345 [50]	≥485 [70]		18 <sup>1)</sup>	21 <sup>1)2b)</sup>
A709-07	Grade 36*	≥250 [36]	400-550 <sup>2)</sup> [58-80]		20 <sup>1)</sup>	21 <sup>1)2)</sup>
	<b>Grade 50</b>	≥345 [50]	≥450 [65]		18 <sup>1)</sup>	21 <sup>1)2)</sup>
	<b>Grade 50S</b>	345-450 [50-65]	≥450 [65]	≤0,85	18 <sup>1)</sup>	21 <sup>1)</sup>
A913-04	<b>Grade 50</b>	≥345 <sup>4)</sup> [50]	≥450 [65]	≤0,85 <sup>4)</sup>	18	21
	<b>Grade 65</b>	≥450 [65]	≥550 [80]		15	17
A992-06a	<b>Grade 50</b>	345-450 [50-65]	≥450 [65]	≤0,85	18 <sup>1)</sup>	21 <sup>1)</sup>

Fuente: *ArceloMittal*. [www.constructalia.com/espanol](http://www.constructalia.com/espanol). Consulta: 15 de julio de 2016.

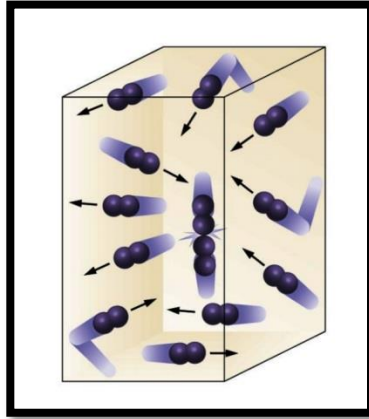
Otra propiedad del acero es la dureza; como propiedad es la capacidad de un material para resistirse a ser rallado por el contacto con otro, y la fragilidad se puede entender como la tendencia que tiene un material a fracturarse con una mínima deformación; la fragilidad es lo opuesto a la ductilidad que es la capacidad de un material de deformarse y regresar a su estado normal en un ciclo determinado.

Existe algunas clases de acero que puede ser muy frágiles, debido al alto contenido de carbono que lo hace ser un material muy duro. La fragilidad y la

dureza están estrechamente vinculadas con el tipo de estructura cristalina que posea el acero.

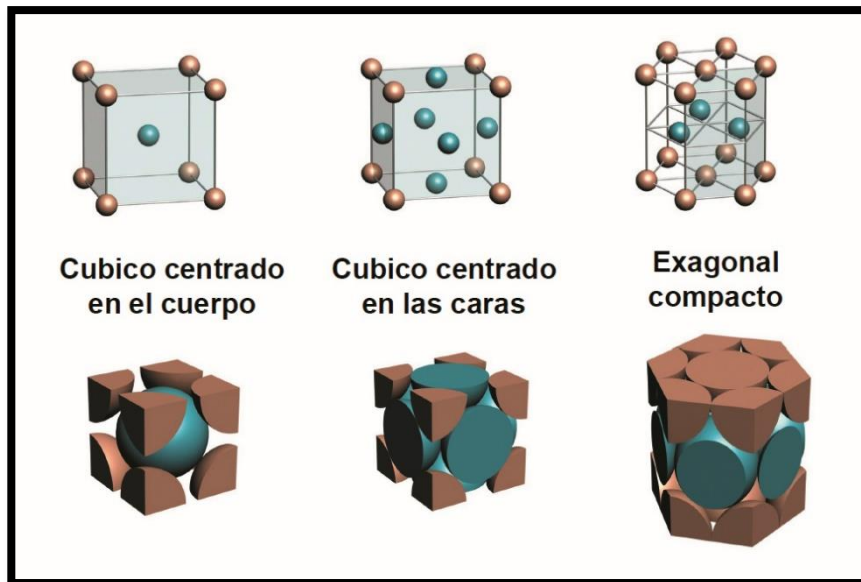
- Estructuras cristalinas: se sabe que la materia está compuesta por partículas muy pequeñas llamadas moléculas que a su vez están compuestas por partículas aún más pequeñas: átomos; la dispersión de los átomos de determinado elemento puede variar dependiendo el estado en el que se encuentre dicho elemento, es decir, un elemento en estado gaseoso posee una distribución de átomos más separada que la distribución de ese mismo elemento pero en un estado sólido.
- En un metal en estado sólido la distribución de sus átomos se realiza en forma de mallas tridimensionales; el metal, como se sabe, puede encontrarse en dos estados: sólido líquido; en cada uno de estos estados la alineación de las mallas es diferente; a esta variabilidad en la alineación de las mallas se le conoce como un material polimórfico o alotrópico.
- De una manera muy simplista se puede decir que una estructura cristalina no es más que la forma de cómo se ordenan los átomos en el espacio tomando en cuenta que esto lo hace de manera ordenada y con patrones de repetición que se extienden en tres dimensiones.
- Cada tipo de malla en los metales tiene distintas propiedades, pese a que se sigue tratando del mismo material, en el acero se pueden encontrar principalmente dos tipos de mallas: cúbica centrada en el cuerpo (BCC) y cúbica centrada en las caras (FCC) que se ilustran en la figura siguiente.

Figura 6. **Estado líquido de los metales**



Fuente: *Metales líquidos*. <https://www.taringa.net> › Ciencia y educación. Consulta: 2 de febrero de 2017.

Figura 7. **Estructuras cristalinas**



Fuente: *Estructuras cristalinas*. [http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2013/cml/3-Estructuras\\_Cristalinas.pdf](http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2013/cml/3-Estructuras_Cristalinas.pdf). Consulta: 10 de febrero de 2017.

Como se aprecia en las figuras anteriores, la estructura BCC (cúbica centrada en el cuerpo) es el estado del acero a una temperatura ambiente también conocido como hierro alfa; como su nombre lo indica, esta estructura posee un átomo en el centro de la celda y 8 fragmentos de un segundo átomo colocados en las aristas del cubo.

La estructura FCC (cúbica centrada en la cara) es el estado del acero cuando alcanza una temperatura de 910 °C, también, conocido como hierro gamma, en esta estructura se puede observar que en cada arista, el cubo posee  $1/8$  de átomo y en las caras del mismo posee medio átomo para dar un total de 4 átomos por cada celda de esta estructura.

Para la celda FCC este factor es 0.74 y para la celda unitaria BCC es 0,68; de tal manera se deduce que la celda FCC está más llena.

Aunque parezca contradictorio, a pesar de que las celdas BCC tienen más espacio libre, la distribución geométrica de los átomos, para un átomo anfitrión dado, genera que los espacios intersticiales permitan alojar átomos de un radio menor que los que podría alojar la estructura FCC; esto anudado a la relación de tamaños de los átomos de hierro y de carbono provocan que la estructura FCC diluya mucho más carbono que la BCC. Esto indica que para el acero, al modificar la estructura de un acero de BCC a FCC, se permite que el hierro disuelva más carbono y de esta manera posea características distintas, a pesar de ser el mismo material.

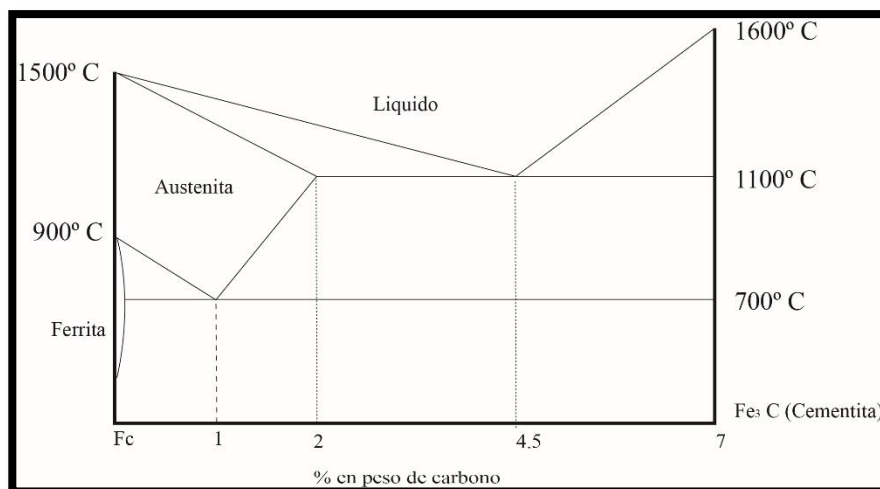
El objetivo de profundizar en este tema es que el lector comprenda que el acero puede variar su estructura cristalina y esta variación está en función del cambio de la temperatura y por ello puede tener distintas propiedades; y estas

variaciones se ven afectadas por la cantidad de carbono y la cantidad de elementos secundarios de la aleación.

Para una mayor comprensión de lo indicado en el párrafo anterior se puede hacer uso de una herramienta indispensable en el estudio de la metalurgia del acero: el diagrama hierro – carbono que muestra la representación gráfica de los estados y fases por las que atraviesa el acero todo en función de la temperatura y el proceso que se utilice para enfriarlo; ya que el enfriamiento representa la última etapa del proceso y es donde se forman las diferentes clases de microestructuras.

La gráfica del hierro – carbono muestra la frontera entre un acero y una fundición y, como ya se ha explicado líneas arriba, esto depende de la cantidad de carbono que contenga la aleación.

Figura 8. **Diagrama hierro – carbono**



Fuente: *Tecnología industrial.*

[http://tecnologiasselectividad.blogspot.com/2009\\_11\\_01\\_archive.html](http://tecnologiasselectividad.blogspot.com/2009_11_01_archive.html). Consulta: 12 de febrero de 2017.

A los microconstituyentes se les conoce como las diferentes fases del acero o una aleación general a diferentes temperaturas; las fases del acero presentan características particulares en las cuales los principales microconstituyentes del acero listan a continuación:

- Ferrita ( $\alpha$ ): consiste en átomos de hierro con estructura BCC y átomos de carbono en los espacios intersticiales; la cantidad de átomos de carbono que puede diluir la ferrita es pequeña; esta fase es muy suave, dúctil y magnética.
- Austenita ( $\gamma$ ): consiste en átomos de hierro con estructura FCC y átomos de carbono en los espacios intersticiales; es una fase más suave y más dúctil que la ferrita y es no magnética.
- Cementita ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ): tiene un 6,67 % en peso de carbono, y es un compuesto intermetálico; la cementita es muy dura, de hecho es el constituyente más duro de los aceros al carbono, con una dureza de 68 Rockwell C. La cementita destaca por ser un constituyente frágil, con alargamiento nulo y sin resiliencia.
- Perlita: es un constituyente formado por placas alternas de ferrita y cementita, el punto marcado con un círculo azul es denominado punto eutectoide, 0,77 % de carbono, en este punto la ferrita y la cementita están en cantidades exactas para formar un 100 % de perlita; a la izquierda del punto (aceros hipo-eutectoides) habrá un exceso de ferrita, por lo que se formará solo la cantidad de perlita que permita la cementita presente y quedará una mezcla entre perlita y ferrita; por el contrario, al lado derecho de este punto (aceros hiper-eutectoides) existirá un exceso



de cementita en relación a la ferrita y se formará una mezcla de perlita y cementita.

- **Martensita:** es una solución sólida sobresaturada de carbono en hierro alfa, se obtiene por un enfriamiento muy rápido de los aceros; una vez elevada su temperatura lo suficiente para conseguir su constitución austenítica, después de la cementita es el constituyente más duro del acero. Esta estructura es la obtenida a través del temple, aunque es una estructura que se puede buscar en ciertas aplicaciones debido a su alta dureza; puede ser muy perjudicial para otras por su fragilidad; en soldadura es de vital importancia tomar en cuenta los aspectos técnicos que permitan evitar la formación de estructuras martensíticas para no fragilizar las uniones.

Ahora ya se puede comprender mejor el porqué los aceros se clasifican según su estructura cristalina y dentro de esta clasificación se encuentra tres clases de aceros: estos son: acero de bajo contenido de carbono, acero con medio contenido de carbono y acero con alto contenido de carbono.

- **Aceros de bajo carbono:** la estructura que predomina es la ferrita, el contenido de carbono es menor al 0,2 % como propiedades principales podemos encontrar que es un acero blando, dúctil, de bajas propiedades mecánicas con alto porcentaje de alargamiento y sobre todo baja dureza posee un excelente comportamiento para soldabilidad.
- **Aceros de medio contenido de carbono:** la estructura está formada por una mezcla de ferrita y perlita, el contenido de carbono se encuentra entre 0,2 % al 0,5 %, esta gama de acero es la que se encuentra en la

mayoría de aceros comerciales. Y adquiere dureza con un proceso de templado o con un incremento en su contenido de carbono.

- Aceros de alto contenido de carbono: la estructura de este acero puede estar formada por una mezcla de ferrita y perlita o perlita y cementita, el contenido de carbono supera 0,5 % dentro de sus propiedades posee una elevada resistencia y una gran dureza aunque se convierte en un acero muy frágil ya que su tenacidad es muy baja o casi cero.

El acero, como fuente de materia prima y dependiendo de la aplicación que se le pueda dar, puede ser sometido a diferentes procesos independientes del diagrama hierro-carbono.

- Templabilidad: la templabilidad, es un término utilizado para referirse a la facilidad de un acero de ser templado; el temple consiste básicamente en elevar la temperatura del acero hasta sobrepasar el límite de austenización y luego enfriarlo posteriormente con aceite, agua o aire según sea la situación de enfriamiento; puede ser un proceso controlado o una consecuencia no deseada de un proceso que aporta calor como la soldadura; como resultado final se produce martensita, esta estructura es sumamente dura y frágil, tanto así que cuando el temple se realiza en un procedimiento controlado, por lo general, después se debe realizar otro proceso que se le conoce como revenido que consiste en volver a elevar la temperatura del material, esta vez por debajo de su punto de austenización y dejarlo enfriar; esto se hace para eliminar cierta dureza al temple original y disminuir algunas fragilidades que pueden hacer inutilizable el material.

- Las propiedades mecánicas que se desee obtener de la aleación dependerán de la composición química, el contenido de carbono y de la velocidad con la que se enfríe dicho acero luego de haber superado la frontera de la fase de austenítica. El objetivo de este trabajo no es profundizar en este tema más allá de generar la idea principal y dejar claro que el acero puede cambiar de estructura al elevar la temperatura considerablemente que puede representar un severo daño a la pieza y para lo que se le pueda emplear.
- De lo anterior, se comprende que mientras más alto sea el contenido de carbono de un acero, es más susceptible a templarse, incluso con enfriamientos relativamente lentos como al aire libre; de allí que los aceros estructurales se limitan a un carbono bajo, medio-bajo. Los aceros de alto contenido de carbono deben ser soldados (si es viable) con procedimientos especiales de precalentamiento y enfriamientos controlados.
- Soldabilidad: es la facilidad con la que un acero permite obtener soldaduras sanas y homogéneas; en otras palabras, es el parámetro que mide que tan soldable puede ser un acero, normalmente teniendo como referencia un término conocido como carbono equivalente que se define en la sección siguiente.

A partir de la templabilidad y soldabilidad se han creado varios métodos para calcular el contenido de carbono, pero solamente se explicará uno de los diferentes métodos existentes: carbono equivalente.

Carbono equivalente: cuando se aplica cualquier tipo de soldadura producida por arco eléctrico en los aceros al carbono y de baja aleación

produce el endurecimiento de la zona afectada por el calor del metal base; esto es causado normalmente por la transformación de la austenita en martensita que resulta del rápido enfriamiento del metal de soldadura; el nivel de endurecimiento depende del contenido de carbono en la aleación y la velocidad de enfriamiento. Sin embargo, para aceros que contengan otros elementos en su composición química puede tomar roles importantes y determinantes en el comportamiento del acero ante el proceso de soldadura.

Para aceros al carbono y de baja aleación, el efecto de la composición se evalúa por medio del carbono equivalente desarrollado empíricamente ( $C_{eq}$ ). El Instituto Internacional de Soldadura desarrolló una fórmula para calcular el carbono equivalente:

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

El resultado de la ecuación anterior se debe comparar con los siguientes parámetros para saber la soldabilidad del material.

- Hasta un 0,25 %C: no es necesario tomar medidas especiales para aplicar una soldadura.
- De 0,25 %C a 0,40 %C: medianamente soldable por ello es recomendable tomar algunas medidas técnicas antes de aplicar soldadura.
- Por encima de 0,40 %C: es muy poco soldable y es importante tomar todas las consideraciones necesarias hablando técnicamente antes de aplicar una soldadura.

Por ejemplo, la aleación ASTM A992, que es la adición más reciente desde 1998, pasó a formar parte de la lista de aceros estructurales en Estados Unidos, está disponible solamente en perfiles tipo W. Para fines prácticos se trata de un acero A572 grado 50 con requisitos adicionales; el carbono equivalente no excede de 0,50 y ofrece características excelentes para soldabilidad y posee una excelente ductilidad.

Ahora que ya se está familiarizado con ciertos términos muy técnicos se puede explicar de una manera más detallada qué es y cuáles son los beneficios de un acero estructural, cuáles pueden ser sus desventajas como tal y la clasificación según la norma que los regula.

### **3.1.1. Aceros estructurales**

Aceros estructurales se refiere a perfiles rolados en caliente, utilizados para la construcción de edificios de acero. Los aceros estructurales se pueden clasificar según su forma en perfiles estructurales que pueden tener una variedad de formas como: I, H, T, canal o ángulos. Las vigas Wf (*wide Flange*) son las más utilizadas en la construcción de edificios que no sean bodegas o galpones. Los perfiles Wf, en la actualidad son casi exclusivamente A992 (grado 50), los canales y ángulos son A36.

Dentro de esta clasificación de acero estructural también se encuentra las barras, piezas de acero laminado cuya sección transversal pueden ser circulares, hexagonales y cuadrados. Este tipo de elementos son normalmente acero A36.

No se debe olvidar mencionar las planchas que son fabricadas en diferente espesor y ancho, las planchas de acero se cortan y se soldan para formar perfiles armados. En nuestro medio las láminas son normalmente A36, pero se pueden conseguir en otros países cercanos en A572 G50.

La alta resistencia del acero por unidad de peso implica que será relativamente bajo el peso de la estructura; esto es muy importante para puentes y edificios sumamente grandes.

La uniformidad es una de las ventajas del acero debido a que con el tiempo no cambia apreciablemente sus características como le sucede a las estructuras de concreto reforzado. Si el mantenimiento de las estructuras de acero es adecuado durará indefinidamente; algunas investigaciones realizadas en los aceros modernos revelan que bajo ciertas condiciones no se necesita ningún mantenimiento a base de pintura. En resumen, el acero estructural es un material plástico, dúctil, tenaz, resistente y de bajo costo en su fabricación.

A continuación, se muestra una tabla de las clases de acero y sus posibles aplicaciones.

Tabla II. **Clases de acero y sus posibles aplicaciones**

TIPO DE ACERO	DIFERENTES USOS
ASTM A 36	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Placas de Conexión</li> <li>- Anclajes de barras redondas lisas (OS) y perfiles (LI)</li> <li>- Cuerdas Superiores e Inferiores de Armaduras (LI)</li> <li>- Montantes y Diagonales de Armaduras (LI)</li> <li>- Largueros Tipo Joist (OS ó LI)</li> <li>- Contravientos de Cubiertas (OS)</li> </ul>
ASTM A 529 G 50	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Placas hasta 1" de espesor (Placas de Conexión, Placas base, cartabones, etc.)</li> <li>- Canales (CE) pequeños utilizados para alfardas de escaleras y conexiones de poste de viento</li> <li>- Cuerdas de Armaduras de (LI)</li> <li>- Montantes y Diagonales (LI)</li> <li>- Contravientos Laterales (LI)</li> </ul>
ASTM A 572 G 50	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Placa Hasta 4"</li> <li>- Vigas Principales Tipo (IR)</li> <li>- Vigas Secundarias Tipo (IR)</li> <li>- Columnas de perfiles Tipo (IR)</li> <li>- Mezzanines</li> </ul>
ASTM A 588	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Acero Patinable (por lo general es un acero que estará sometido a la intemperie)</li> <li>- Plataformas Marinas</li> </ul>
ASTM A 709	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Puentes</li> <li>- Torres de Transmisión</li> </ul>
ASTM A 992	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vigas (IR)</li> <li>- Columnas (IR)</li> <li>- Mezzanines (IR)</li> <li>- Postes de viento (IR)</li> <li>- Espectaculares (IR)</li> <li>- Trabes Carril</li> </ul>
ASTM A 53	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tubos Estructurales</li> </ul>
ASTM A 500	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Columnas de secciones huecas cuadradas (HSS u OR)</li> <li>- Columnas de secciones huecas circulares (OC)</li> <li>-</li> <li>- Columnas de secciones huecas rectangulares (HSS u OR)</li> </ul>
ASTM A 501	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bastidores (PTR u OR)</li> <li>- Bases de tanques de gas, de agua, etc (PTR u OR)</li> </ul>

Fuente: *Elección de tipos de aceros para estructuras.*

<https://www.gerdau.com/gerdaucorsa/es/productsservices/.../eleccion-tipo-de-acero.pdf>.

Consulta: 28 de febrero de 2017.

### **3.1.2. Desventajas del acero estructural**

El acero es susceptible a la corrosión al estar expuestos al aire y al agua, por consiguiente, se le debe aplicar diversas capas de recubrimiento que puede evitar cualquier tipo de reacción química con el oxígeno; esto es de mayor interés si la estructura está en un ambiente que propicie la corrosión como cerca del océano o proceso industriales específicos; en edificio normales esto no es un problema difícil de tratar.

### **3.1.3. Acero norma ASTM A992**

La especificación estándar ASTM A992 se emplea con mayor frecuencia en la construcción de componentes de bastidor como vigas en I y perfiles Wf. Este acero se define por una mezcla de elementos que incluye: cobre, vanadio, cromo, níquel y molibdeno. Actualmente, remplazo a la norma A36 para perfiles Wf.

La composición del acero A992 se presta para una mejora en la soldabilidad, agregando a su utilidad en todo tipo de proyectos de construcción. Este acero mantiene una resistencia elástica a la tracción de 50 000 psi y una resistencia a la tracción final de 65 000 psi. El acero A992 se utiliza para fabricar componentes de acero estructural con alta resistencia a la corrosión, esenciales para proyectos de construcción expuestos a duras condiciones climáticas.

En el caso específico de este trabajo, los perfiles Wf cuyo espesor de patines esté entre los grosores especificados, serán A992.



#### **3.1.4. Acero norma ASTM A36**

De los aceros al carbono, el acero ASTM A-36 es una de las variedades más comunes; este acero ofrece una excelente resistencia para ser una aleación con bajo contenido de carbono y posee una gran ductilidad, con una plataforma plástica definida. La resistencia a fluencia de este material es de 36 000 psi y una resistencia a tracción final de 58 000 psi.

Su composición está formada básicamente por hierro en un 98 % o 99 %, y desde luego una pequeña cantidad de carbono, aproximadamente 0,18 %, contiene pequeñas cantidades de otros minerales: cobre al 0,2 %, manganeso en un 0,8 % y fósforo en 0,04 % estos elementos consiguen darle a la aleación fuerza y resistencia; no se puede dejar de lado que es prácticamente imposible dejar la aleación sin impurezas de azufre pero con un contenido que va hasta el 0,05 % como máximo es aceptable y calificado por las normas que rigen la calidad del acero estructural.

En nuestro medio, este acero es el material del cual están hechas las placas o láminas en espesores desde ¼" hasta 2,5", de aquí que los perfiles armados serán fabricados típicamente con este material, aunque es posible conseguir láminas A572 cuya fluencia es 50 000 psi.

#### **3.2. Materiales de aporte**

La mayoría de los electrodos o materiales de aporte se clasifican a partir de sus propiedades que fueron estudiadas y clasificadas según el comité asociado a la *American Welding Society* (AWS) y a la *American Society Mechanical Engineers* (ASME); como se ha mencionado, las propiedades mecánicas del acero dependen en gran medida del tipo de aleación que se

involucran en su fabricación, por lo tanto, el electrodo o material de aporte se debe seleccionar con base en la composición química de los aceros que se fueren a soldar.

En el apartado 2,1 se hace mención del proceso GMAW que necesita como producto consumible un alambre especial; entre estos alambres puede haber alambres sólidos y tubulares; los alambres sólidos puede que sean los más utilizados debido a su menor costo pero la elección que se tenga por uno o por otro será fundamentalmente al metal base y al espesor que se fuese a soldar. En este caso se enfocará de manera precisa por la elección de alambre tubular ya que este se comporta de manera similar al comportamiento que tiene un electrodo revestido.

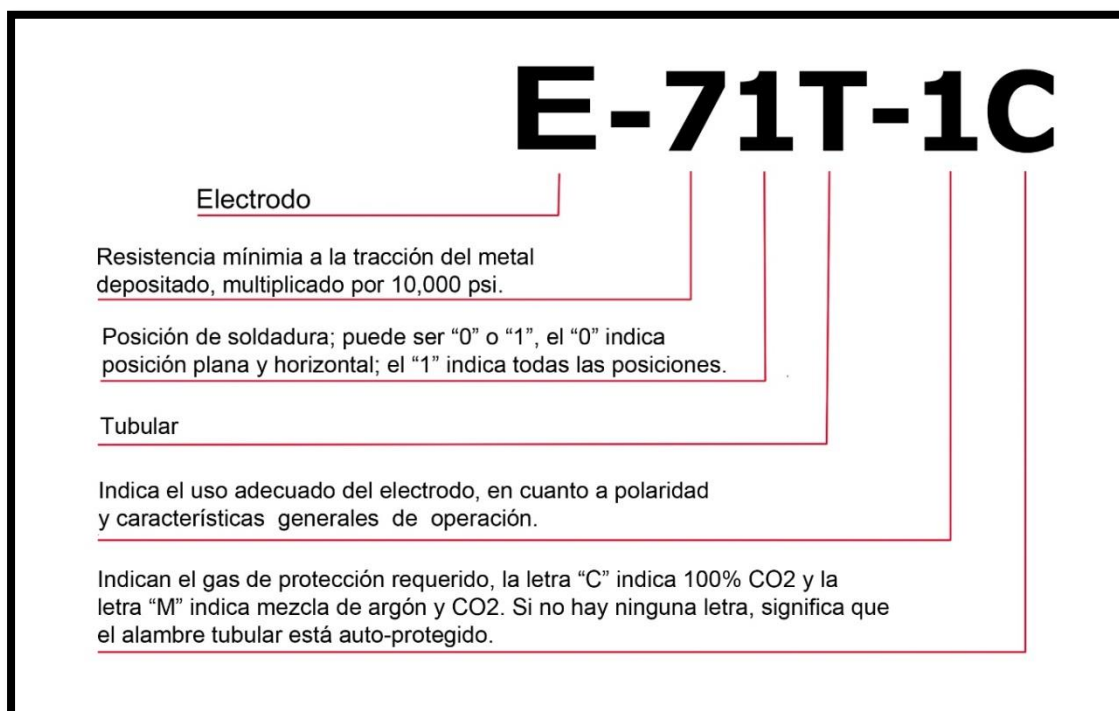
Actualmente, en la industria se puede encontrar una variedad de bobinas de diferentes marcas y diámetros que van desde 0,9 / 1,0 / 1,2 y 1,6 milímetros. Este capítulo se enfocará en hablar específicamente del alambre con diámetro de 1,6 mm o 1/16" que es utilizado para la unión de vigas a tope con acero A36 y A992. El material de aporte en mención ha sido diseñado para depositar soldaduras de calidad en todas las posiciones con aceros al carbono; las aplicaciones de alambre tubular en la industria del acero estructural son diversas como también el aporte que brinda a otra industrias, por ejemplo, se puede hacer mención de las industrias que trabajan con otros materiales que utilizan acero que su contenido de carbono este por arriba de lo que se considera como un acero estructural; desde luego que esos materiales con alto contenido de carbono no deben exceder el límite que nos marca el diagrama hierro-carbono porque ya se estaría hablando de fundiciones.

El alambre tubular según lo estipulado por la norma y el fabricante, produce una escoria de solidificación lenta la cual es una ventaja cuando se

trabaja con materiales de gran espesor pero sin dificultar la soldadura en diferentes posiciones y desde luego ofrece una fácil limpieza. Como todo en la industria del acero estructural, el material de aporte del que se está tratando, el alambre tubular de 1,6 mm o 1/16" está sujeto a la norma ISO 17632-A-T.

El tipo de alambre o material de aporte se clasifica según su composición y el gas protector; para entender esta clasificación se ha adoptado una serie de números y letras según las propiedades mecánicas del depósito de soldadura, un ejemplo típico de clasificación con base en el sistema universal de clasificación es E71T-1; en la siguiente figura se explicará de forma visual.

Figura 9. **Significado de la nomenclatura de materiales de aporte**



Fuente: *Tipos de alambre utilizado con soldadura*. [www.demaquinasyherramientas.com](http://www.demaquinasyherramientas.com) › Soldadura. Consulta: 3 de marzo de 2017.

Se considera necesario hacer mención sobre los tipos de aceros y electrodos que se pueden utilizar; la siguiente tabla muestra la relación que existe entre los metales bases y los metales de aporte; es importante utilizar los materiales que aparecen en la lista del código de soldadura AWS D1.1 debido a que todo esto ya ha sido precalificado y pueden ser utilizados para la realización de un WPS.

En la siguiente tabla se encierra en un círculo rojo el material de aporte aprobado por el código de soldadura.

Tabla III. Metales base y los metales de aporte

METAL DE BASE PRECALIFICADO – COMBINACIONES DE METALES DE APORTE							
Requerimientos de la Especificación de Acero				Requerimientos de Metal de Aporte			
Especificación del Acero	Mínima Resistencia a La		Rango de Tracción		Proceso	Especif. de Electrodo AWS	Clasificación de Electrodo
	ksi	Mpa	ksi	Mpa			
ASTM A 36	(≤3/4 pulg. [20 mm])	36	250	58-80	400-550		
ASTM A 53	Grado B	35	240	60 min.	415 min.	SMAW	A5.1 E60XX, E70XX
ASTM A 106	Grado B	35	240	60 min.	415 min.		A5.5c E70XX-X
ASTM A 131	Grados A, B, CS, D, DS, E	34	235	58-75	400-520		
ASTM A 139	Grado B	35	240	60 min.	414 min.		
ASTM A 381	Grado Y35	35	240	60 min.	415 min.		
ASTM A 500	Grado A	33	230	45 min.	310 min.	SAW	A5.17 F6XX-EXXX, F6XX-ECXXX
	Grado B	42	290	58 min.	400 min.		F7XX-EXXX, F7XX-ECXXX
	Grado C	46	315	62 min.	425 min.		
ASTM A 501		36	250	58 min.	400 min.		A5.23c F7XX-EXXX-XX
ASTM A 516	Grado 55	30	205	55-75	380-515		F7XX-ECXXX-XX
	Grado 60	32	220	60-80	415-550		
ASTM A 524	Grado I	35	240	60-85	415-586		
	Grado II	30	205	55-80	380-550	GMAW	A5.18 ER70S-X, E70C-XC
ASTM A 573	Grado 65	35	240	65-77	450-530		E70C-XM (los electrodos con sufijo -GS deben ser Excluidos
	Grado 58	32	220	58-71	400-490		A5.28c ER70S-XXX, E70C-XXX
ASTM A 709	Grado 36 (≤3/4 pulg. [20 mm])	36	250	58-80	400-550		
ASTM A 1008 SS	Grado 30	30	205	45 min.	310 min.		
	Grado 33 Tipo 1	33	230	48 min.	330 min.	FCAW	A5.20 E7XT-X, E7XT-XC, E7XT-XM
	Grado 40 Tipo 1	40	275	52 min.	360 min.		Los electrodos con sufijos -2C, -2M,
ASTM A 1011 SS	Grado 30	30	205	49 min.	340 min.		-3-10, -13, -14, y -GS deben ser excluidos
	Grado 33	33	230	52 min.	360 min.		y los electrodos con el sufijo -11 deben
	Grado 36 Tipo 1	36	250	53 min.	365 min.		ser excluidos para espesores mayores a
	Grado 40	40	275	55 min.	380 min.		1/2 pulg. [12mm]
	Grado 45	45	310	60 min.	410 min.		
API 5L	Grado B	35	241	60	414		A5.29c E6XTX-X, E6XTX-XC
	Grado X42	42	290	60	414		E6XTX-XM, E7XTX-X
ABS	Grado A, B, CS, D, DS	34	235	58-75	400-520		E7XTX-XC, E7XTX-XC, E7XTX-XM
	Grado E	34	235	58-75	400-520		

Fuente: Código para soldadura estructural. [www.soldaceros.com.pe/wp-content/uploads/2015/09/ANSI-AWS-D1.1.-2000.pdf](http://www.soldaceros.com.pe/wp-content/uploads/2015/09/ANSI-AWS-D1.1.-2000.pdf). Consulta: 6 de marzo de 2017.

- Clasificación de electrodo y tipo a utilizar

Como parte de las variables a tomar en cuenta para el desarrollo de del WPS es necesario tomar en cuenta el material de aporte según el proceso a utilizar; como ya se ha explicado, el proceso a utilizar es GMAW; según el código, el material precalificado se encuentra dentro de la tabla 3. Y según estas normas el material base utilizado es A5.18 /ASME ER70S-6.

Figura 10. **Material de aporte precalificado**



Fuente: elaboración propia.

### **3.3. Metalurgia de la soldadura**

Se concentra en analizar los diferentes procesos de calentamiento, fusión, solidificación y enfriamiento en la soldadura que es el método más común y utilizado en la actualidad para la unión de materiales metálicos, pero es el más complejo desde el punto de vista de cambios no intuitivos en el material. Prácticamente todos los tipos de fenómenos metalúrgicos ocurren durante la realización de una soldadura. Dentro de estos fenómenos esta: fusión, solidificación, reacciones gas-metal, fenómenos de superficie y reacciones en estado sólido.

Todo proceso de soldadura genera una carga considerable de energía térmica que ocasiona el incremento en la temperatura que es producida por la acción de un arco eléctrico, al exponer el material en estas condiciones extremas, el metal alcanza la fase de austenización (se forma austenita), esto se puede apreciar de mejor manera en el diagrama hierro carbón (figura 8) donde se observan las diferentes fases del acero y los diferentes cambios al llegar a este punto crítico. La zona susceptible a cambios de microestructura derivado de la soldadura se conoce como zona afectada por el calor (ZAC) o zona afectada térmicamente (ZAT).

Por los cambios de estructura cristalina en esta área, es allí donde se producen la mayoría de las fallas, sobre todo cuando existen sobre cargas cíclicas, todo debido a la alta temperatura que se ocasiona por la soldadura. El resultado final de una soldadura es el producto de varias etapas que inician con las reacciones que se producen cuando el acero se encuentra en estado líquido y terminan cuando el acero alcanza su estado sólido. En el instante que da inicio la solidificación se forman las dos diferentes estructuras cristalográficas, luego de esto ocurren las transformaciones termomecánicas (son las tensiones

residuales que se dan en el acero al ser expuesto a energía térmica) y estas solo pueden darse en un estado sólido, terminados estos procesos se llega al resultado final. Se considera importante explicar de manera simple lo que son estructuras cristalográficas como se ha hecho mención en el párrafo anterior.

- Estructura primaria

Luego de la aplicación de la soldadura se da inicio al proceso de solidificación; en esta etapa se forman las diferentes estructuras iniciando con lo que se conoce como estructura primaria, al darse las transformaciones termomecánicas mencionadas en la sección anterior se obtiene la estructura final o conocida como estructura secundaria.

Se debe tomar en cuenta que la creación de estas estructuras se da siempre y cuando exista una fusión sin importar si exista material de aporte o no. Con un material de aporte no adecuado se puede obtener un resultado no deseado ya que las estructuras que se formarán en la etapa de solidificación pueden alterar las propiedades mecánicas deseadas; es por ello la importancia en la elección debida de los diferentes materiales de aporte que existen en la industria porque los metales a soldar pueden tener diferentes características.

Siguiendo con las estructuras cristalinas es necesario que se tomen en cuenta ciertos aspectos que se pueden dar antes y durante la solidificación de una soldadura: reacciones metal-gas, reacciones con fases líquidas no metálicas como las escorias o fundentes y reacciones que se dan en estado sólido producidas durante la solidificación de la soldadura; la cristalización es un proceso algo complejo pero es necesario ver los fenómenos con que se rigen para lograr entender este tema más detalladamente.

- El primer fenómeno de la cristalización da inicio con el proceso de soldadura; el número de cristales aumenta y a medida que el proceso se va desarrolla también se incrementa la rapidez o velocidad con la que los cristales se van multiplicando; acá se produce un fenómeno particular: los cristales en mención incrementan su tamaño individual y esto da como resultado que el espacio entre cristales se vaya reduciendo provoca a su vez una desaceleración en la creación de cristales en el área afectada por el calor.
- El segundo fenómeno representa la forma en que crecen los cristales, debido a que dichos cristales están rodeados de líquido y suelen crecer de forma regular; pero al haber un cristal con una diferente ubicación espacial (otro metal), los cristales crecerán de forma irregular y solo la interacción de dichos cristales podrá dictar su estructura final. Es propicio mencionar que la velocidad con la que crecen los cristales influye en la forma en la que se encuentren ubicados al final del proceso.

La solidificación de una soldadura es el proceso de transformación de sólido a líquido la cual está gobernada por un proceso donde se combina la nucleación y el crecimiento de cristales; el tamaño, orientación y distribución de los granos define las propiedades mecánicas de la zona que ha sido soldada. Dicho crecimiento de cristales va en la misma orientación que el grano de metal. A este fenómeno se le conoce como crecimiento epitaxial que es común en todos los procesos de soldadura por fusión.

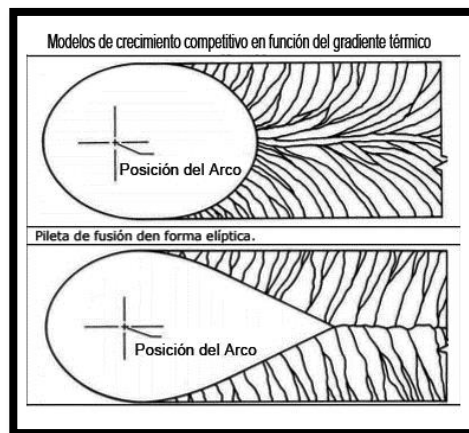
El crecimiento de cristales, también, es influenciado por el estado de la pileta líquida a la hora de realizar la soldadura; también influye la velocidad de avance y la temperatura, factores sumamente importantes; si la velocidad de



avance es baja la pileta tiende a tomar una forma elíptica, pero si la velocidad aumenta, la pileta tiende a alargarse tomando forma de gota.

Resumiendo, la forma de la pileta es la que determina la dirección de los granos al igual que la velocidad de crecimiento, también se debe tomar en cuenta la velocidad de enfriamiento; para hablar de este tema específicamente es necesario realizar una serie de cálculos y una cuidadosa especificación de las condiciones en que se producirá la soldadura debido a que la velocidad de enfriamiento puede variar como lo hace el gradiente térmico con la posición y el tiempo; cuando la pileta se encuentra en fusión toma una forma de gota, pero el gradiente térmico máximo tendrá muy poca variabilidad en su dirección y en todos los puntos de solidificación; si la pileta de fusión es elíptica, la dirección de gradiente máximo cambiará continuamente desde el borde hacia el centro del cordón. En la siguiente figura se muestra lo que sucede cuando la pileta tiene forma elíptica y cuando tiene forma de gota.

Figura 11. **Pileta con forma elíptica y pileta con forma de gota**



Fuente: Universidad Tecnológica de Pereira. *Metalografía*.

<http://blog.utp.edu.co/metalografia/capitulo-18-soldadura-metalurgia-de-la-soldadura-procesos-de-soldadura-soldabilidad>. Consulta: 15 de marzo de 2017.

Si se quiere tener una mayor comprensión de esto, existen diagramas de estado; un diagrama de estado representa de forma gráfica el estado de una aleación; si varía su composición química, la temperatura y la presión variará su estado final; al diagrama que se ha mencionado se le conoce como diagrama de equilibrio.

- Estructura secundaria

Un acero recién solidificado que se ha enfriado a temperatura ambiente produce transformaciones de fase en estado sólido que dan origen a la llamada estructura secundaria. Estas transformaciones en la soldadura son sumamente importantes porque es donde se pueden alterar las propiedades mecánicas del metal.

La velocidad con la que se enfría tiene relación directa en determinar las condiciones para las transformaciones de fase antes mencionadas y que estas fases no sean equilibradas; por esta situación los diagramas de fase de equilibrio se vuelven difíciles de utilizar. En estos casos se utiliza otro tipo de diagrama: el diagrama de temperatura – transformación – tiempo TTT donde se observa la relación que existe en durante el tiempo y la temperatura necesaria para llegar a la transformación.

Este tema es interesante y complejo pero no se profundizará debido a que no es el objetivo de este trabajo; en resumen las fases del acero están estrechamente ligadas al tiempo y a la velocidad de enfriamiento.

Cabe mencionar que en la aplicación de la soldadura, como proceso térmico y con incidencia en la metalurgia del acero, se producen ciertas reacciones mecánicas que pueden ser detectadas con pruebas no destructivas;

pero no se profundizará en este tema porque para el caso es más relevante explicar estas reacciones físico mecánicas.

- Fisuración

En soldadura o zonas afectadas por el calor pueden ocurrir varios tipos de discontinuidades, estas pueden contener porosidad, escoria o fisuras; de las tres, las fisuras son las más perjudiciales.

- Fisura

Las fisuras en la soldadura o en sus proximidades indican que existen uno o más problemas que deben ser abordados. Es necesario dedicar unas líneas a la explicación de este tipo de falla, cuáles son las causas y cuáles pueden ser las consecuencias ya que en el momento de la fabricación es importante tomar en cuenta algunos aspectos: alto contenido de carbono y aleaciones que contenga el metal base, altas velocidades de enfriamiento, captación de hidrógeno, bajo punto de fusión de contaminantes en el metal base, diseño de la junta inadecuada, etc; todos estos detalles pueden dar como resultado final una soldadura fisurada.

Básicamente hay dos tipos de fisuración: fisuración en frío y fisuración en caliente.

- Fisuración en frío

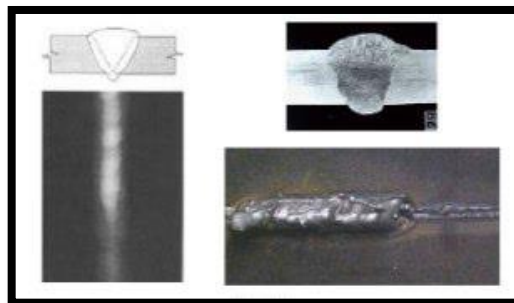
La fisuración en frío o por hidrógeno es una discontinuidad que se da en un tiempo posterior a la aplicación de la soldadura lo que la hace ser muy crítica; en muchos casos, estas fisuras se muestran decenas de horas después

lo que vuelve vulnerable la integridad de la estructura y por este motivo se deben aplicar ensayos no destructivos para la localización de las mismas en un cordón de soldadura. Existen tres causas que provocan la fisuración por hidrógeno o en frío:

- Existe gran cantidad de hidrógeno difusible en el metal de soldadura o en el ZAC, este hidrógeno puede venir de la humedad que se encuentra en el ambiente o puede provenir del material de aporte (electrodos) es por esto que se recomienda hacer un precalentamiento y los materiales de aporte son de bajo hidrógeno.
- Una microestructura dura superior a los 36,8 (HRC), esto es una estructura en fase martensita.
- Tensiones mecánicas como las residuales o térmicas.

En la siguiente imagen se muestra como es una fisuración en frío.

Figura 12. **Soldaduras con fisuración en frío**



Fuente: *Inspección visual en soldadura.*

<https://josecarlosrobles.wordpress.com/2012/07/14/inspeccion-visual-en-soldadura-imperfecciones-mas-usuales>. Consulta: 20 de marzo de 2017.

- Fisuración en caliente

Este tipo de discontinuidad puede darse como resultado del efecto combinado de la contracción, una característica de cualquier proceso que implique energía térmica como la soldadura, ya que en este proceso se involucra la variable de calentamiento localizado; la ausencia de una adecuada ductilidad del metal a altas temperaturas produce este tipo de fisuras.

Esta falla puede presentarse en la etapa final de la solidificación de la pileta líquida; aproximadamente, ocurre a temperaturas elevadas de 80 % a 90 % por ciento de la temperatura de fusión en grados kelvin o pueden ocurrir en la zona afectada por el calor de soldadura; se le denomina fisuras de licuación, ya que se produce por licuación de fases segregadas en borde de grano muy próximas a la línea de fusión.

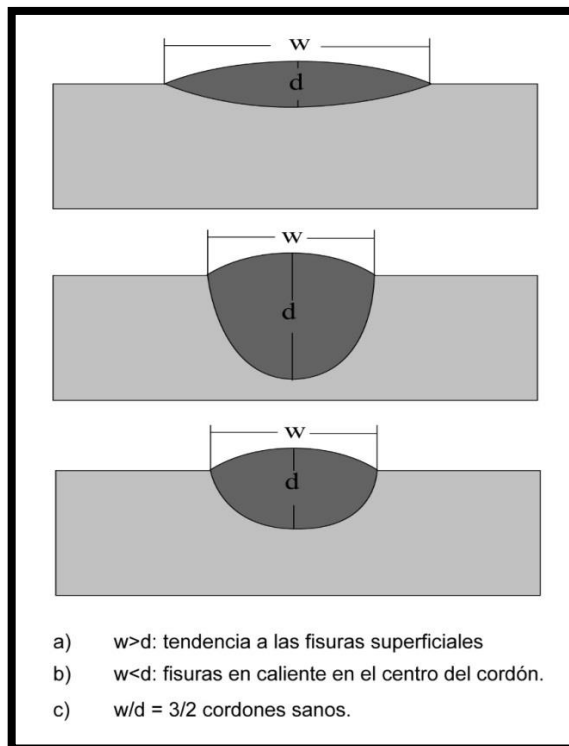
Se conocen algunas causas que provocan este tipo de fisura; a continuación, se listarán las más conocidas.

- Contenido de elementos con bajo punto de fusión como el fósforo y el azufre en aceros al carbono y de baja aleación en aceros inoxidable austeníticos y no ferrosos.
- Alta densidad de corriente.
- Mal diseño de la junta y alto grado de rigidez de la unión.
- Altas velocidades y arco largo incrementan la fisuración en caliente.

Otra de las causas de fisuración puede ser la forma del cordón; debido a que hay una relación entre el ancho y la profundidad del cordón; en otras palabras el cordón de soldadura no puede ser más ancho que la profundidad ni la profundidad mucho más grande que el ancho.

En resumen, para evitar la fisuración en caliente, el material que se va a soldar debe tener bajo contenido o nada de fósforo y azufre; además, el cordón debe tener una relación de 3/2; en la siguiente figura se muestra de manera explícita y gráfica la relación que debe existir entre el ancho y la profundidad del cordón de la soldadura.

Figura 13. **Relación de cordones de soldadura en ancho y profundidad**



Fuente: *Soldadura y tecnología*. [soldaduraytecnologias.blogspot.com/](http://soldaduraytecnologias.blogspot.com/). Consulta: 25 de marzo de 2017.

### 3.4. Técnica de aplicación de la soldadura

El código AWS describe los pasos para aplicar una soldadura de calidad. Se describirán los pasos a dictados por la *American Welding Society*.

- Biseles

Un bisel es un proceso de preparación para la aplicación de una soldadura. Dicho proceso se da transversalmente en un ángulo entre 45° y 60° que evitará formas angostas que provoquen la fisuración en caliente de la soldadura.

Existen varios tipos de biseles: I bisel en X, bisel en V y otros, pero el más utilizado en el tipo de uniones de interés en este documento es el bisel tipo V; si se hace el proceso de biselado de manera respectiva a las piezas que se fuesen a soldar según el espesor del material base eliminará del área todos los óxidos, grasas y escamas que puedan contaminar la junta. Para el procedimiento hay que preparar las orillas de ambas piezas biselando cada una con un ángulo aproximado de 45° dejando un hombro entre 2 y 3 mm de espesor.

En las siguientes figuras se muestra un bisel en forma de V a 45° como luce antes de aplicar soldadura y como se ve una soldadura ya terminada con su bisel apropiadamente.

Figura 14. **Bisel en forma de V a 45° sin soldadura**



Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Bisel en forma de V a 45° con soldadura**



Fuente: elaboración propia.



- Precalentamiento

Uno de los aspectos principales al realizar una soldadura es prevenir y evitar en la medida de lo posible la formación de microestructuras martensíticas; como se sabe, este tipo de estructura tiene una dureza sumamente grande y como resultado se vuelve frágil. Estas estructuras se precipitan derivado del tipo de enfriamiento que posea un acero, su cantidad y facilidad de formación se incrementa directamente con el contenido de carbono. Una característica inherente de los metales es la conductividad térmica, es decir, al aplicar calor, soldadura en este caso, en una de las secciones de un metal ocasionará una diferencia de temperatura entre la sección soldada y el resto del metal que se encuentra a temperatura ambiente, por consiguiente, el calor se distribuirá por todo el material a una velocidad elevada, produciendo en el área soldada un enfriamiento a veces suficientemente rápido para formar martensita y fisuras.

Los objetivos principales de precalentar el material es retardar el enfriamiento para evitar la formación de estructuras indeseadas y como consecuencia que el material se vuelva frágil y que pierda su tenacidad y ductilidad, también, el precalentamiento propicia la difusión de hidrógeno fuera del material para reducir porosidades en la soldadura por la presencia de humedad y evitar futuras fisuras en frío, minutos o incluso horas después de finalizada la soldadura.

Uno de los métodos más comunes y conocidos para evaluar las necesidades de precalentamiento en un acero que será soldado es el carbono equivalente. Aplicando dicha fórmula para un acero A36 se tiene la siguiente composición química:

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

Tabla IV. **Composición de acero A36**

Elemento	Porcentaje %
Carbono (C)	0,21
Manganeso (Mn)	
Azufre (S)	0,05
Fósforo (P)	0,04
Silicio (Si)	0,4 Max
Cobre (Cu) =	
Níquel (Ni) =	
Cromo (Cr) =	
Molibdeno (Mo) =	
Niobio (Nb) =	
Vanadio (V) =	

$$C_{eq} = 0,22333$$

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Composición de acero A992**

Elemento	Porcentaje %
	% ≤ 0,25
Carbono (C)	0,50 – 1,60
Azufre (S)	0,045
Fósforo (P)	0,035
Silicio (Si)	0,4 Max
Cobre (Cu) =	0,6 Max
Níquel (Ni) =	0,45 Max
Cromo (Cr) =	0,35 Max
Molibdeno (Mo) =	0,15
Niobio (Nb) =	0,05
Vanadio (V) =	0,15 Max

$$C_{eq} = 0,25$$

Fuente: elaboración propia.

Por el resultado de la fórmula se aplican los criterios que se describieron en el capítulo 3.1 (apartado de soldabilidad página 27), pero se hará nuevamente la referencia.

- Hasta un 0,25 %C: no es necesario tomar medidas especiales para aplicar una soldadura.
- De 0,25 %C a 0,40 %C: medianamente soldable por ello es recomendable tomar algunas medidas técnicas antes de aplicar soldadura.
- Por encima de 0,40 %C: es muy poco soldable y es importante tomar todas las consideraciones necesarias hablando técnicamente antes de aplicar una soldadura.

Existen otros métodos de predicción de temperatura de precalentamiento y surgen a partir del trabajo que se realizó en ensayos en aceros al carbono sobre severidad térmica controlada (CTS). Este diagrama toma en cuenta el hidrógeno que se difunde, el carbono equivalente, espesor de juntas y aporte térmico.

Para este caso en particular se pueden utilizar las temperaturas que sugiere el código de la AWS. Para los aceros que según su contenido de carbono lo llegasen a necesitar, se muestran las tablas precalificadas pero se anticipa diciendo que para el acero A36 y A992, por poseer un contenido de bajo carbono y estar dentro del rango que se explicó en el apartado anterior no requiere precalentamiento:

Tabla VI. Temperatura mínima de precalentamiento precalificado

C a t e g o r í a	Especificación de Acero		Proceso de Soldadura	Espesor de la Sección Mas Gruesa en el Punto de Soldadura		Temperatura Mínima de Precalentamiento y de Interpase	
				pulg.	mm	°F	°C
A	ASTM A 36	Grado B	SMAW con electrodos diferentes a los bajo hidrógeno	1/8 a 3/4 incl.	3 a 20 incl.	32 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
	ASTM A 53	Grado B					
	ASTM A 106	Grado B					
	ASTM A 131	Grados A, B, CS, D, DS, E					
	ASTM A 139	Grado B					
	ASTM A 381	Grado Y35					
	ASTM A 500	Grado A					
		Grado B					
		Grado C					
	ASTM A 501						
	ASTM A 516						
	ASTM A 524	Grados I & II					
	ASTM A 573	Grado 65					
	ASTM A 709	Grado 36					
	ASTM A 1008 SS	Grado 30					
	Grado 33 Tipo 1						
	Grado 40 Tipo 1						
ASTM A 1011 SS	Grado 30						
	Grado 33						
	Grado 36 Tipo 1						
	Grado 40						
	Grado 45						
	Grado 50						
	Grado 55						
API 5L	Grado B						
	Grado X42						
ABS	Grados A, B, D, CS, DS						
	Grado E						
B	ASTM A 36	Grado B	SMAW con otros electrodos bajos en hidrógeno SAW, GMAW, FCAW	1/8 a 3/4 incl.	3 a 20 incl.	32 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
	ASTM A 53	Grado B					
	ASTM A 106	Grado B					
	ASTM A 131	Grados A, B, CS, D, DS, E					
		AH 32 & 36					
		DH 32 & 36					
		EH 32 & 36					
	ASTM A 139	Grado B					
	ASTM A 381	Grado Y35					
	ASTM A 441	Grado A					
	ASTM A 500	Grado B					
		Grado C					
	ASTM A 501						
	ASTM A 516	Grados 55 & 60					
		65 & 70					
ASTM A 524	Grados I & II						
ASTM A 529	Grados 50 & 55						
ASTM A 537	Clases 1 & 2						
ASTM A 572	Grados 42, 50, 55						

(Continuado)

Fuente: Código para soldadura estructural. [www.soldaceros.com.pe/wp-content/uploads/2015/09/ANSI-AWS-D1.1.-2000.pdf](http://www.soldaceros.com.pe/wp-content/uploads/2015/09/ANSI-AWS-D1.1.-2000.pdf). Consulta: 30 de marzo de 2017.

Tabla VII. Temperatura mínima de precalentamiento precalificado

C a t e g o r í a	Especificación de Acero	Proceso de Soldadura	Espesor de Sección Mas Gruesa en el Punto de Soldadura		Temperatura Mínima de Precalentamiento y de Interpase		
			pulg.	mm	°F	°C	
B (Cont'd)	ASTM A 573	Grado 65					
	ASTM A 588						
	ASTM A 595	Grados A, B, C					
	ASTM A 606						
	ASTM A 618	Grados Ib, II, III					
	ASTM A 633	Grados A, B					
	ASTM A 709	Grados 36, 50, 50S, 50W <sub>1</sub> , HPS 50W					
	ASTM A 710	Grado A, Clase 2 (>2 pulg. [50 mm])					
	ASTM A 808						
	ASTM A 913 <sup>b</sup>	Grado 50					
	ASTM A 992						
	ASTM A 1008 HSLAS	Grado 45 Clase 1 Grado 45 Clase 2 Grado 50 Clase 1 Grado 50 Clase 2 Grado 55 Clase 1 Grado 55 Clase 2	SMAW con electrodos bajos en hidrógeno SAW, GMAW, FCAW	1/8 a 3/4 incl.	3 a 20 incl.	32*	0*
	ASTM A 1008 HSLAS-F	Grado 50		Más de 3/4 hasta 1-1/2 incl.	Más de 20 hasta 38 incl.	50	10
	ASTM A 1011 HSLAS	Grado 45 Clase 1 Grado 45 Clase 2 Grado 50 Clase 1 Grado 50 Clase 2 Grado 55 Clase 1 Grado 55 Clase 2		Más de 1-1/2 hasta 2-1/2 incl.	Más de 38 hasta 65 incl.	150	65
	ASTM A 1011 HSLAS-F	Grado 50		Más de 2-1/2	Más de 65	225	110
	ASTM A 1018 HSLAS	Grado 45 Clase 1 Grado 45 Clase 2 Grado 50 Clase 1 Grado 50 Clase 2 Grado 55 Clase 1 Grado 55 Clase 2					
	ASTM A 1018 HSLAS-F	Grado 50					
	ASTM A 1018 SS	Grado 30 Grado 33 Grado 36 Grado 40					
	API 5L	Grado B Grado X42					
	API Spec. 2H	Grados 42, 50					
	API 2MT1	Grado 50					
	API 2W	Grados 42, 50, 50T					
	API 2Y	Grados 42, 50, 50T					
	ABS	Grados AH 32 & 36 DH 32 & 36 EH 32 & 36					
	ABS	Grados A, B, D, CS, DS Grado E					

Fuente: Código para soldadura estructural. www.soldaceros.com.pe/wp-content/uploads/2015/09/ANSI-AWS-D1.1.-2000.pdf. Consulta: 30 de marzo de 2017.

Tabla VIII. Temperatura mínima de precalentamiento precalificado

C a t e g o r í a	Especificación de Acero		Proceso de Soldadura	Espesor de Sección Mas Gruesa en el Punto de Soldadura		Temperatura Mínima de Precalentamiento y de Interpase	
				pulg.	mm	°F	°C
B (Cont'd)	ASTM A 573	Grado 65	SMAW con electrodos bajos en hidrógeno SAW, GMAW, FCAW	1/8 a 3/4 incl.	3 a 20 incl.	32 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
	ASTM A 588	Grados A, B, C					
	ASTM A 595	Grados A, B, C					
	ASTM A 606	Grados A, B					
	ASTM A 618	Grados Ib, II, III					
	ASTM A 633	Grados A, B					
	ASTM A 709	Grados C, D					
	ASTM A 710	Grados 36, 50, 50S, 50W <sub>1</sub> , HPS 50W					
	ASTM A 808	Grado A, Clase 2 (>2 pulg. [50 mm])					
	ASTM A 913 <sup>b</sup>	Grado 50					
	ASTM A 992	Grado 50					
	ASTM A 1008 HSLAS	Grado 45 Clase 1					
	ASTM A 1008 HSLAS-F	Grado 45 Clase 2					
	ASTM A 1011 HSLAS	Grado 50 Clase 1					
	ASTM A 1011 HSLAS-F	Grado 50 Clase 2					
	ASTM A 1018 HSLAS	Grado 55 Clase 1					
	ASTM A 1018 HSLAS-F	Grado 55 Clase 2					
	ASTM A 1018 HSLAS-F	Grado 50					
	ASTM A 1018 HSLAS	Grado 45 Clase 1					
	ASTM A 1018 HSLAS	Grado 45 Clase 2					
	ASTM A 1018 HSLAS-F	Grado 50 Clase 1					
	ASTM A 1018 HSLAS-F	Grado 50 Clase 2					
	ASTM A 1018 HSLAS-F	Grado 55 Clase 1					
	ASTM A 1018 HSLAS-F	Grado 55 Clase 2					
	ASTM A 1018 HSLAS-F	Grado 50					
	ASTM A 1018 SS	Grado 30					
	API 5L	Grado 33					
	API Spec. 2H	Grado 36					
API 2MT1	Grado 40						
API 2W	Grado B						
API 2Y	Grado X42						
ABS	Grados 42, 50						
ABS	Grado 50						
ABS	Grados 42, 50, 50T						
ABS	Grados 42, 50, 50T						
ABS	Grados AH 32 & 36						
ABS	DH 32 & 36						
ABS	EH 32 & 36						
ABS	Grados A, B, D, CS, DS						
ABS	Grado E						

Fuente: Código para soldadura estructural. [www.soldaceros.com.pe/wp-content/uploads/2015/09/ANSI-AWS-D1.1.-2000.pdf](http://www.soldaceros.com.pe/wp-content/uploads/2015/09/ANSI-AWS-D1.1.-2000.pdf). Consulta: 30 de marzo de 2017.

- Posición de soldadura

En la soldadura existen cuatro posiciones para trabajar la soldadura de ranura:

- 1G soldadura de superficie plana
- 2G soldadura horizontal
- 3G soldadura de arriba hacia abajo y viceversa
- 4G soldadura sobre cabeza de techo

Con estas cuatro nomenclaturas se puede identificar la posición en la que se realizará dicho trabajo; esto facilita la retroalimentación del formulario WPS.

## **4. PRECALIFICACIÓN DEL WPS**

### **4.1. Proceso de la soldadura**

Para realizar una soldadura precalificada, la intención de este documento, se deben respetar las especificaciones del código de soldadura de acero estructural AWS D1.1.

El WPS depende del proceso, especificación, clasificación y diámetro del electrodo, especificaciones del metal base, características eléctricas, temperatura mínima de precalentamiento, corriente que se utiliza en la soldadura, velocidad de avance, voltaje del arco, posición de la soldadura y detalles del diseño de la junta.

Efectos de las variables para soldadura: las variables que se involucran en un proceso de soldadura pueden ser muchas, unas con más incidencia en la calidad que otras, en las secciones siguientes se describen las más importantes.

Antes de continuar, es importante explicar que todo proceso de soldadura es a base de electricidad; actualmente, la industria de la soldadura se ha desarrollado tanto que existe una gran variedad de máquinas para los diferentes procesos de soldadura que existen, pero en principio todas estas máquinas trabajan con las dos formas de tensión que existen: voltaje continuo (CV) y corriente continua (CC).



En los procesos de SMAW se utiliza corriente continua (CC); los procesos como GMAW, SAW y FCAW utiliza voltaje continuo (CV).

En este documento se abordará únicamente la información relacionada con voltaje continuo (CV) que utiliza un material de aporte que es continuo y un gas inerte que realiza la función de revestimiento en un electrodo común, este proceso es conocido como GMAW.

- Amperaje

Se define como la cantidad de corriente o flujo de electrones que fluyen a través del electrodo y la pieza a soldar; esta es una variable primaria a la hora de calcular el calor de entrada ya que un amperaje más alto significa una mayor velocidad de deposición, una penetración más profunda y más dilución; es importante hacer mención sobre la longitud de arco ya que esta es graduada únicamente por el técnico soldador y puede afectar directamente la cantidad de corriente que fluya a través de ella; esto significa que a entre mayor es la longitud del arco menor será el amperaje que fluya a través del mismo arco.

- Voltaje del arco

Al igual que la corriente, esta variable también se ve afectada por la longitud del arco eléctrico; cuando la longitud del arco aumenta, también, lo hace el voltaje, tal como lo demanda la protección del arco eléctrico generado; el voltaje se determina por medio del selector de la máquina para que la longitud del arco sea relativamente fija; el ancho del cordón, también, es controlado por el voltaje del arco.

Como se acaba de describir, las variables de corriente y voltaje están en función de la longitud del arco eléctrico; si el arco disminuye en su longitud la corriente se incrementará y el voltaje será menor; si el largo del arco aumenta la corriente disminuirá y el voltaje aumentará.

El voltaje en un circuito de soldadura no es constante; existe una serie de caídas que sufre el voltaje, esto se da entre la fuente de energía y la pieza a soldar. Existe un rango de caída de aproximadamente 3V a 4V, esto está asociado a la resistencia que presenta a la entrada de la corriente en el cable que viene de la fuente de alimentación principal; es importante que los voltajes usados para monitorear los procedimientos de soldadura reconozcan cualquier pérdida en el circuito de soldadura. La manera más precisa y exacta para medir el voltaje del arco es midiendo la caída que existe entre el tubo de contacto y la pieza a soldar; específicamente, para el proceso GMAW no se tiene este problema ya que el voltaje es controlado por el técnico y posicionado en una escala específica; la escala en mención está estrechamente vinculada a la velocidad con la que el material de aporte es utilizado en la realización de la soldadura.

- Velocidad de avance

Esta medición se hace en pulgadas/min. Esta variable es la velocidad a la que el electrodo o material de aporte se desplaza con respecto a la junta. La velocidad de avance tiene un efecto inverso en la dimensión del grosor de los cordones de soldadura, si se incrementa la velocidad de avance el tamaño del cordón de soldadura disminuye; esta variable es una de las más importantes y críticas debido a que es una variable clave en la entrada de calor; reduciendo la velocidad de avance aumenta la entrada de calor.

- Diámetro del electrodo

Esta variable entra en el grupo de las variables críticas, esto se debe a que el diámetro del electrodo o en este caso específico el material de aporte que se utiliza en el proceso GMAW es sumamente importante y relevante, debido a que se utiliza un material con un diámetro mayor producirá una mayor tensión para un amperaje fijo; sin embargo, es importante hacer mención en los electrodos o material de aporte con un diámetro menor porque estos producen una mayor velocidad de deposición.

- Polaridad

Se le conoce como polaridad a la dirección del flujo de corriente, existen dos formas de darle esa dirección a la corriente: polaridad negativa y polaridad positiva.

La polaridad positiva se logra cuando el cable del porta-electrodo se conecta con la terminal positiva de la máquina y la polaridad negativa es lo opuesto es decir, cuando el cable del porta-electrodo se conecta a la polaridad negativa de la máquina, todo esto es válido siempre que la máquina sea (DC). En una máquina con corriente (AC), el porta-electrodo alternará su polaridad según la función senoidal que describe el comportamiento de la corriente alterna.

- Entrada de calor

La entrada de calor es proporcional al amperaje de la soldadura multiplicado por el voltaje del arco, posteriormente dividido por la velocidad de avance. Cuando la entrada de calor aumenta, puede afectar negativamente las

propiedades en la región que está expuesta a la soldadura o más conocida como (ZAC); una mayor entrada de calor generalmente representa una leve disminución en las propiedades mecánicas, por ejemplo, disminución de la fluencia y la tenacidad esto se explica de mejor manera en el apartado 2.2 Zona afectada por el calor (ZAC).

#### **4.2. Definición del tipo de soldadura a emplearse (soldadura de filete)**

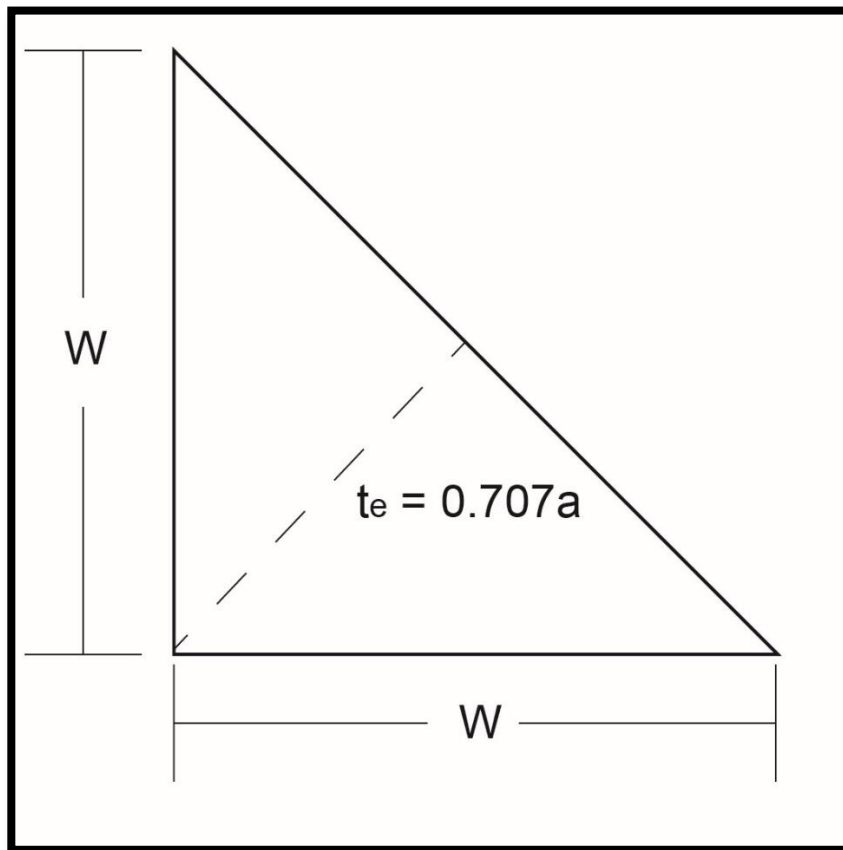
La soldadura de filete se puede definir como cordones que están cargados de forma que pueda tener corte longitudinal o corte transversal; en pruebas realizadas si se llegase a aplicar una fuerza de tracción que superara la resistencia ejercida por la soldadura de filete la ruptura ocurrirá en la garganta de la soldadura donde se presenta la menor área transversal. Pruebas de soldadura a filete utilizando electrodos compatibles han demostrado que la soldadura falla a través de su garganta efectiva antes que el material falle a lo largo del lado del cordón.

A pesar de esto se sabe que la soldadura de filete posee más resistencia a la tracción y a la compresión que al corte, de manera que los esfuerzos determinantes son los de corte. La dimensión efectiva de la garganta de una soldadura de filete es la distancia más corta desde la raíz a la cara de la soldadura, asumiendo que la soldadura de filete tiene lados iguales de tamaño nominal la garganta efectiva  $t_e$  es igual a  $0,707a$ .

Existe la posibilidad de que sea necesario diseñar una soldadura de filete que sea asimétrica con lados desiguales, en esta situación especial se debe tomar en cuenta que el valor de la garganta efectiva es igual  $t_e$  debe calcularse de la forma de la soldadura que se aplicará.

Para cordones de soldadura a filete con el tamaño nominal menor o igual a 3/8" (10 mm), la dimensión efectiva de la garganta se tomará igual al tamaño nominal  $w$ .

Figura 16. **Garganta de soldadura simétrica**

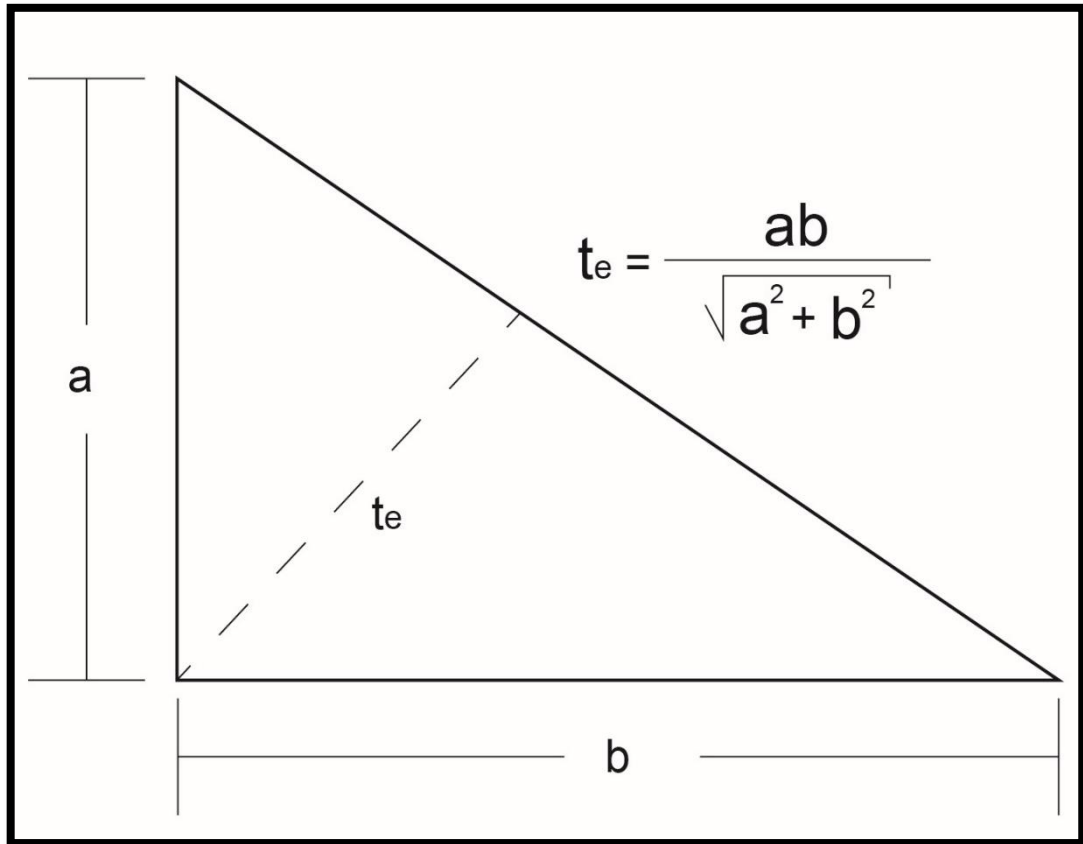


Fuente: *Compost a Je – Scribd*. <https://es.scribd.com/document/336384980/Compost-a-Je>.

Consulta: 3 de abril de 2017.

- Para cordones con tamaño nominal mayor que 3/8" la dimensión efectiva de la garganta se tomará como  $0,707w + 2,8$  mm (0,11 in).

Figura 17. **Garganta de soldadura asimétrica**

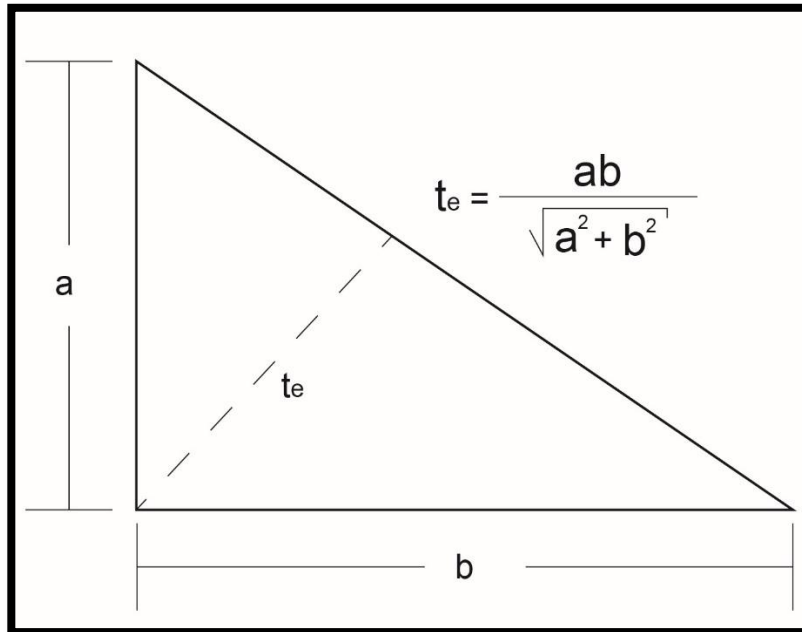


Fuente: *Compost a Je – Scribd*. <https://es.scribd.com/document/336384980/Compost-a-Je>.

Consulta: 3 de abril de 2017.

- Para cordones con tamaño nominal mayor que 3/8" la dimensión efectiva de la garganta se tomará como  $0,707w + 2,8 \text{ mm}$  (0,11 in).

Figura 18. **Garganta de soldadura asimétrica**



Fuente: *Compost a Je – Scribd*. <https://es.scribd.com/document/336384980/Compost-a-Je>.

Consulta: 3 de abril de 2017.

- Definición del tipo de soldadura a emplearse (penetración completa)

Este tipo de soldadura es utilizada cuando se necesita que la soldadura equipare la resistencia total de la placa conectada o cuando existen esfuerzos cíclicos; en el caso de las pegas de los patines de las vigas es necesario que la unión genere un segmento con la resistencia total del perfil o del patín soldado; el tipo de unión se conoce como unión a tope que consiste en unir dos piezas en el mismo plano; a excepción en láminas delgadas se debe preparar con biseles los bordes y aplicar la soldadura en ambos lados; el objetivo de la penetración completa es sustituir el material en su totalidad, es decir, formar una unión donde el 100 % del área transversal de la pieza está conectada. Se

puede tener una serie de soldaduras a tope típicas, pero la más frecuente y de la que más se hará uso es la soldadura a tope con bisel en V para secciones gruesas.

Se listarán una serie de referencias sobre la soldadura de penetración completa esta información fue extraída del código AWS D1.1.

- Tamaño efectivo de soldadura de canal CJP

El tamaño de soldadura de canal CJP debe ser del espesor de la parte unida más delgada, debe prohibirse un incremento del área efectiva para los cálculos de diseño del refuerzo de soldadura.

- Requerimientos Comunes de soldadura de canal PJP y CJP

Las preparaciones de canal detalladas para juntas por SMAW precalificadas pueden usarse para GMAW o FCAW precalificadas.

Ref. Capítulo 3.11.1 del código AWS D1.1 pág. 64

- Requerimientos de soldadura de canal CJP

Las soldaduras de canal CJP que pueden utilizarse sin realizar el ensayo de calificación WPS descrito en la sección 4 del código AWS, y deben ser como se detalla en la figura 3.4 del código. A continuación, se muestran las figuras que describe el código.



Figura 19. Leyenda para figura 3.3 y 3.4

<p><b>Símbolo para tipos de juntas</b></p> <p>B — junta tope            C — junta esquina            T — junta T-            BC — junta esquina o de tope            TC — junta T- o de esquina            BTC — junta tope, T- esquina</p>	<p><b>Procesos de soldaduras</b></p> <p>SMAW — soldadura por arco con electrodo revestido            GMAW — soldaduras por arco con alambre sólido y protección gaseosa            FCAW — soldadura por arco con alambre tubular            SAW — soldaduras por arco sumergido</p>
<p><b>Símbolo para espesor y penetración de metal de base</b></p> <p>P — PJP            L — espesor limitado-CJP            U — espesor limitado-CJP</p>	<p><b>Posiciones de soldaduras</b></p> <p>F — plano            H — horizontal            V — vertical            OH — sobrecabeza</p>
<p><b>Símbolo para tipos de soldaduras</b></p> <p>1 — de canal cuadrado            2 — de canal simple-V            3 — de canal doble-V            4 — de canal bisel simple            5 — de canal bisel doble            6 — de canal simple-U            7 — de canal doble-U            8 — de canal simple-J            9 — de canal doble-J            10 — de canal bisel curvo            11 — de canal bisel curvo-V</p>	<p><b>Dimensiones</b></p> <p>R = Abertura de Raíz  <math>\alpha, \beta</math> = Ángulo de Canal            f = Cara de Raíz            r = Radio de Canal J- o U-            S, S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> = Soldadura de Canal PJP            Profundida de Canal            E, E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> = Soldadura de Canal PJP            Tamaños correspondiendo a S, S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> respectivamente</p>
<p><b>Símbolo para procesos de soldaduras si no son SMAW</b></p> <p>S — SAW            G — GMAW            F — FCAW</p>	<p><b>Designación de Junta</b></p> <p>Las letras en minúscula, e.g. a, b, c etc.) se usan para diferenciar las juntas que de otra forman tendrían la misma designación de junta.</p>

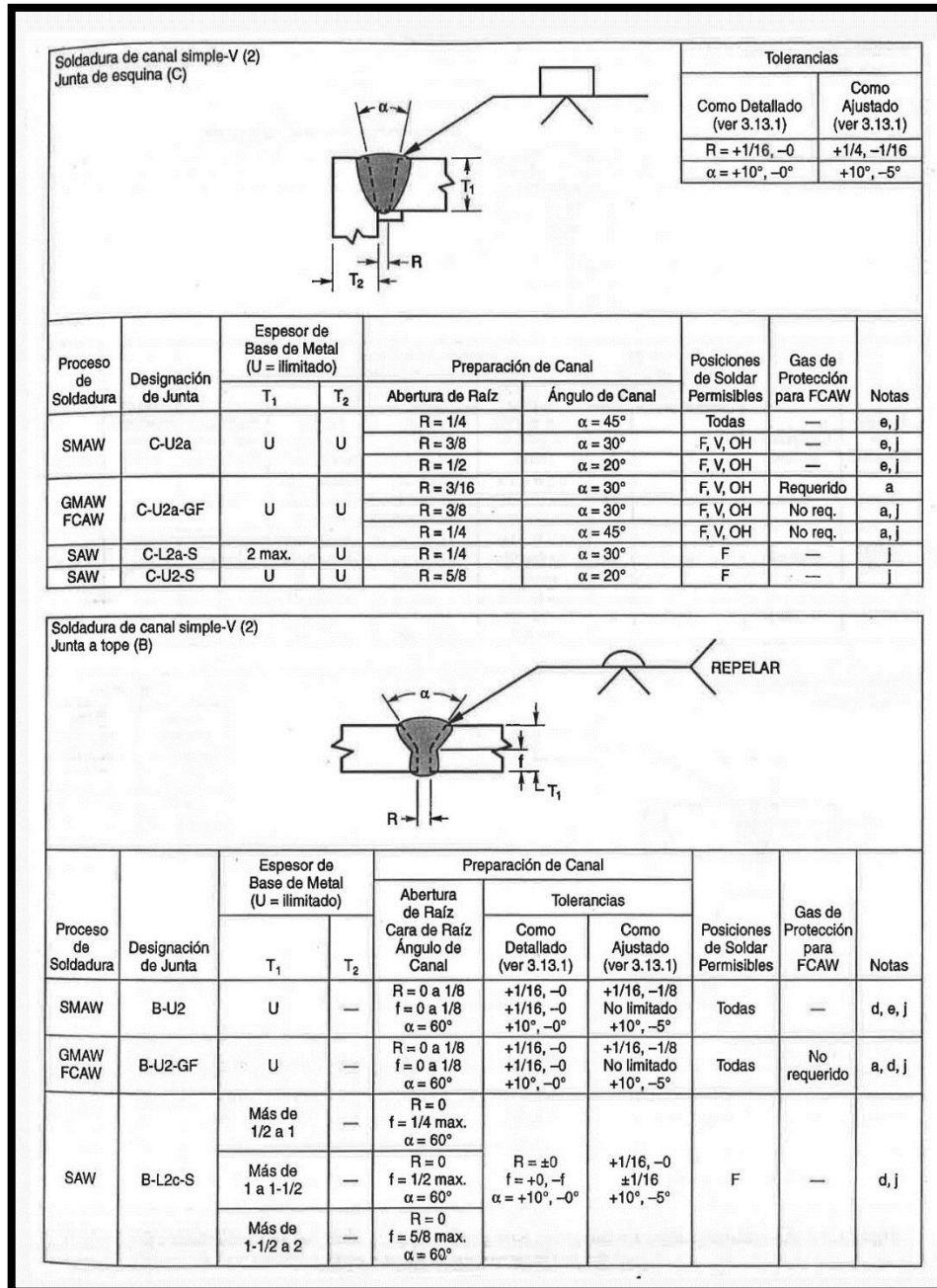
**Notas para Figuras 3.3 y 3.4**

<sup>a</sup> No precalificas para GMAW-S ni GTAW.  
<sup>b</sup> La junta debe ser soldada de un lado solamente.  
<sup>c</sup> La aplicación de carga cíclica limita el uso de este detalle para juntas a tope en posición plana (ver 2.18.2).  
<sup>d</sup> Sanear la raíz con el un metal sano antes de soldar el segundo lado.  
<sup>e</sup> Juntas detalladas SMAW pueden ser usadas para GMAW precalificadas (excepto GMAW-S) y FCAW.  
<sup>f</sup> Los tamaños mínimos de soldaduras (E) se muestran en la tabla 3.4. S como se especifica en los dibujos.  
<sup>g</sup> Si se usan soldaduras de filete en estructuras cargadas estáticamente para reforzar soldaduras de canal en juntas T- o de esquina, estas deben ser iguales a T<sub>1</sub>/4, pero no pueden exceder 3.8 pulg. [10 mm]. Las soldaduras de canal y juntas T- de estructuras cíclicamente cargadas deben ser reforzadas con soldaduras de filete iguales a T<sub>1</sub>/4, pero no pueden exceder 3.8 pulg. [10 mm].  
<sup>h</sup> Las soldaduras de canal doble pueden tener soldaduras de profundidades desiguales, pero la profundidad del canal más corto no debe ser menor que un cuarto del espesor de la parte de la junta más delgada.  
<sup>i</sup> Las soldaduras de canal doble pueden tener soldaduras de profundidades desiguales, siempre que ellas estén conformes con las limitaciones de la Nota f. También se aplica el tamaño de soldadura (E) para cada canal.  
<sup>j</sup> La orientación de los dos miembros en la junta pueden variar desde 135° a 180° para juntas de tope, 45° a 135° para juntas de esquina, o 45° a 90° para juntas T-.  
<sup>k</sup> Para juntas de esquina, la penetración exterior de la canal puede ser en uno o en ambos miembros, siempre que la configuración básica del canal no sea cambiada y que la distancia adecuada del borde se mantenga para soportar las operación de soldar sin excesiva fusión del borde.  
<sup>l</sup> Tamaño de soldadura (E) debe ser basado en juntas soldadas a ras.  
<sup>m</sup> Para soldaduras de canal curvo en V y de canal con bisel curvo a secciones rectangulares tubulares, r debe ser dos veces el espesor de la pared.  
<sup>n</sup> Para soldaduras de canal curvo en V a superficies con un radio diferente a r, se usara el r mas pequeño.

Fuente: *Precalificación de WPS*. [https://es.scribd.com/document/316339727/Precalificacion-de-](https://es.scribd.com/document/316339727/Precalificacion-de-WPS)

WPS. Consulta: 15 de abril de 2017.

Figura 20. Detalle de juntas de canal soldadas precalificadas como CJP



Fuente: *Precalificación de WPS*. <https://es.scribd.com/document/316339727/Precalificacion-de-WPS>. Consulta: 15 de abril de 2017.

### 4.3. Combinación de metal base/metal de aporte

Es importante conocer el tipo de material base que se utilizará en el proceso de soldadura manual: semiautomática o automática. Esto es de suma importancia porque el material de aporte o los electrodos deben ser compatibles con el material en resistencia y en composición.

Para realizar un WPS precalificado, como en este caso, se deben utilizar solo los metales enlistados en la tabla 3.1 del código AWS D1.1. Dicha tabla muestra una serie de combinaciones que se deben utilizar como material de aporte en el acero estructural; es importante tomar nota de las relaciones de resistencias que existen entre el metal base y el material de aporte. En el cuadro siguiente se detalla información que debe ser utilizada en conjunto con la tabla 3.1 para determinar el tipo de material de aporte.

Tabla IX. **Combinación de metal de base y metal de aporte**

Relación	Metal(es) base	Relación de resistencia de metal de aporte requerida
De la misma resistencia	Cualquier acero a sí mismo o cualquier acero a otro en el mismo grupo	Cualquier metal de aporte en enlistado en el mismo grupo
	Cualquier acero en un grupo o cualquier acero en otro	Cualquier metal de aporte enlistado para cualquiera un grupo de menor resistencia. (Los electrodos SMAW deben ser de clasificación de bajo hidrógeno)
De resistencia menor	Cualquier acero a cualquier acero en cualquier grupo	Cualquier metal de aporte enlistado en un grupo de resistencia debajo del grupo de menor resistencia. (Los electrodos SMAW deben ser de clasificación de bajo hidrógeno)

Fuente: America Welding Society. *Código de soldadura estructural, acero*. p. 61.

Según las especificaciones del código, es necesario la utilización de un electrodo o material de aporte que sea normado. Para este propósito en las uniones a tope de aceros A36 y A992 el material de aporte es A5.18 E-71T-1C.

Para el proceso GMAW, el código muestra una serie de materiales ya normados y precalificados para la unión de los aceros en mención. En la siguiente imagen se puede apreciar el listado de estos materiales que pueden ser utilizados como materiales de aporte.

Figura 21. **Materiales de aporte precalificados**

G r u p o	Metal de Base Precalificado—Combinaciones de Metales de Aporte (ver 3.3)								
	Requerimientos de la Especificación de Acero				Requerimientos de Metal de Aporte				
	Especificación de Acero	Mínima Resistencia a La Fluencia		Rango de Tracción		Especificación de Electrodo			
		ksi	MPa	ksi	MPa		Proceso AWS	Clasificación de Electrodo	
II	ASTM A 1011 HSLAS	Grado 45 Clase 1	45	310	60 min.	410 min.	SMAW	A5.1	E7015, E7016, E7018, E7028
		Grado 45 Clase 2	45	310	55 min.	380 min.			
		Grado 50 Clase 1	50	340	65 min.	450 min.			
		Grado 50 Clase 2	50	340	60 min.	410 min.			
		Grado 55 Clase 1	55	380	70 min.	480 min.			
	ASTM A 1011 HSLAS-F	Grado 50	50	340	60 min.	410 min.	SMAW	A5.5 <sup>e</sup>	E7015-X, E7016-X, E7018-X
		Grado 55 Clase 2	55	380	65 min.	450 min.			
	ASTM A 1011 SS	Grado 50	50	340	65 min.	450 min.	SAW	A5.17	F7XX-EXXX, F7XX-ECXXX
		Grado 55	55	380	70 min.	480 min.			
	ASTM A 1018 HSLAS	Grado 45 Clase 1	45	310	60 min.	410 min.	SAW	A5.23 <sup>c</sup>	F7XX-EXXX-XX, F7XX-ECXXX-XX
		Grado 45 Clase 2	45	310	55 min.	380 min.			
		Grado 50 Clase 1	50	340	65 min.	450 min.			
		Grado 50 Clase 2	50	340	60 min.	410 min.			
		Grado 55 Clase 1	55	380	70 min.	480 min.			
	ASTM A 1018 HSLAS-F	Grado 50	50	340	60 min.	410 min.	GMAW	A5.18	ER70S-X, E70C-XC, E70C-XM (Los electrodos con sufijo -GS deben ser excluidos)
		Grado 55 Clase 2	55	380	65 min.	450 min.			
	ASTM A 1018 SS	Grado 30	30	205	49 min.	340 min.	GMAW	A5.28 <sup>e</sup>	ER70S-XXX, E70C-XXX
		Grado 33	33	230	52 min.	360 min.			
	API 2H	Grado 36	36	250	53 min.	365 min.	FCAW	A5.20	E7XT-X, E7XT-XC, E7XT-XM (Los electrodos con el sufijo -2C, -2M, -3, -10, -13, -14, y -GS debe ser excluidos y los electrodos con el sufijo -11 debe ser excluidos para espesores mayores a 1/2 pulg. [12 mm])
		Grado 40	40	275	55 min.	380 min.			
API 2MT1	Grado 42	42	289	62-82	427-565	FCAW	A5.20	E7XT-X, E7XT-XC, E7XT-XM (Los electrodos con el sufijo -2C, -2M, -3, -10, -13, -14, y -GS debe ser excluidos y los electrodos con el sufijo -11 debe ser excluidos para espesores mayores a 1/2 pulg. [12 mm])	
	Grado 50	50	345	70-90	483-620				
API 2W	Grado 50	50	345	65-90	488-620	FCAW	A5.20	E7XT-X, E7XT-XC, E7XT-XM (Los electrodos con el sufijo -2C, -2M, -3, -10, -13, -14, y -GS debe ser excluidos y los electrodos con el sufijo -11 debe ser excluidos para espesores mayores a 1/2 pulg. [12 mm])	
	Grado 50T	50-75	345-517	65 min.	448 min.				
API 2Y	Grado 42	42-67	290-462	62 min.	427 min.	FCAW	A5.20	E7XT-X, E7XT-XC, E7XT-XM (Los electrodos con el sufijo -2C, -2M, -3, -10, -13, -14, y -GS debe ser excluidos y los electrodos con el sufijo -11 debe ser excluidos para espesores mayores a 1/2 pulg. [12 mm])	
	Grado 50	50-75	345-517	65 min.	448 min.				
API 5L	Grado 50T	50-80	345-552	70 min.	483 min.	FCAW	A5.29 <sup>f</sup>	E7XTX-X, E7XTX-XC, E7XTX-XM	
	Grado X52	52	359	66 min.	455 min.				
ABS	Grados AH32, DH32, EH32	46	315	64-85	440-590	FCAW	A5.20	E7XTX-X, E7XTX-XC, E7XTX-XM	
	Grados AH36, DH36, EH36 <sup>b</sup>	51	355	71-90	490-620				

Fuente: *Código para soldadura estructural*. [www.soldaceros.com.pe/wp-content/uploads/2015/09/ANSI-AWS-D1.1.-2000.pdf](http://www.soldaceros.com.pe/wp-content/uploads/2015/09/ANSI-AWS-D1.1.-2000.pdf). Consulta: 2 de mayo de 2017.

#### 4.4. Requerimientos de la temperatura mínima de precalentamiento

La temperatura de precalentamiento debe ser suficiente para prevenir fisuración y minimizar la formación de estructuras frágiles; para los aceros comunes, las temperaturas ya están establecidas en AWS, como se verá, y como es esperado en aceros de bajo carbono; el precalentamiento no es una solicitud común para aceros estructurales; de igual manera en el código muestra las tabla en las cuales se puede tomar el criterio para precalentar el acero estructural, los aceros de nuestro interés en la tabla son A36 y A572 (láminas grado 50) y A992.

Tabla X. Temperatura mínima de precalentamiento precalificado

C a t e g o r í a	Especificación de Acero	Proceso de Soldadura	Espesor de la Sección Mas Gruesa en el Punto de Soldadura		Temperatura Mínima de Precalentamiento y de Interfase			
			pulg.	mm	°F	°C		
A	ASTM A 36							
	ASTM A 53	Grado B						
	ASTM A 106	Grado B						
	ASTM A 131	Grados A, B, CS, D, DS, E						
	ASTM A 139	Grado B						
	ASTM A 381	Grado Y35						
	ASTM A 500	Grado A Grado B Grado C						
	ASTM A 501			1/8 a 3/4 incl.	3 a 20 incl.	32*	0*	
	ASTM A 516		SMAW con electrodos diferentes a los bajo hidrógeno	Más de 3/4 por 1-1/2 incl.	Más de 20 por 38 incl.	150	65	
	ASTM A 524	Grados I & II						
	ASTM A 573	Grado 65						
	ASTM A 709	Grado 36						
	ASTM A 1008 SS	Grado 30 Grado 33 Tipo 1 Grado 40 Tipo 1			Más de 1-1/2 por 2-1/2 incl.	Más de 38 por 65 incl.	225	110
	ASTM A 1011 SS	Grado 30 Grado 33 Grado 36 Tipo 1 Grado 40 Grado 45 Grado 50 Grado 55			Más de 2-1/2	Más de 65	300	150
	API 5L	Grado B Grado X42						
ABS	Grados A, B, D, CS, DS Grado E							
B	ASTM A 36	Grado B						
	ASTM A 53	Grado B						
	ASTM A 106	Grado B						
	ASTM A 131	Grados A, B, CS, D, DS, E AH 32 & 36 DH 32 & 36 EH 32 & 36			1/8 a 3/4 incl.	3 a 20 incl.	32*	0*
	ASTM A 139	Grado B			Más de 3/4 por 1-1/2 incl.	Más de 20 por 38 incl.	50	10
	ASTM A 381	Grado Y35						
	ASTM A 441	Grado A			Más de 1-1/2 por 2-1/2 incl.	Más de 38 por 65 incl.	150	65
	ASTM A 500	Grado B Grado C						
	ASTM A 501			Más de 2-1/2	Más de 65	225	110	
	ASTM A 516	Grados 55 & 60 65 & 70						
	ASTM A 524	Grados I & II						
	ASTM A 529	Grados 50 & 55						
	ASTM A 537	Clases 1 & 2						
	ASTM A 572	Grados 42, 50, 55						

(Continuado)

Continuación de la tabla X.

C a t e g o r í a	Especificación de Acero	Proceso de Soldadura	Espesor de Sección Mas Gruesa en el Punto de Soldadura		Temperatura Mfima de Pre calentamiento y de Interpase		
			pulg.	mm	°F	°C	
B (Cont'd)	ASTM A 573	Grado 65					
	ASTM A 588						
	ASTM A 595	Grados A, B, C					
	ASTM A 606						
	ASTM A 618	Grados Ib, II, III					
	ASTM A 633	Grados A, B Grados C, D					
	ASTM A 709	Grados 36, 50, 50S, 50W <sub>2</sub> HPS 50W					
	ASTM A 710	Grado A, Clase 2 (>2 pulg. [50 mm])					
	ASTM A 808						
	ASTM A 913 <sup>b</sup>	Grado 50					
	ASTM A 992						
	ASTM A 1008 HSLAS	Grado 45 Clase 1 Grado 45 Clase 2 Grado 50 Clase 1 Grado 50 Clase 2 Grado 55 Clase 1 Grado 55 Clase 2		1/8 a 3/4 incl.	3 a 20 incl.	32 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
	ASTM A 1008 HSLAS-F	Grado 50	SMAW con electrodos bajos en hidrógeno SAW, GMAW, FCAW	Más de 3/4 hasta 1-1/2 incl.	Más de 20 hasta 38 incl.	50	10
	ASTM A 1011 HSLAS	Grado 45 Clase 1 Grado 45 Clase 2 Grado 50 Clase 1 Grado 50 Clase 2 Grado 55 Clase 1 Grado 55 Clase 2		Más de 1-1/2 hasta 2-1/2 incl.	Más de 38 hasta 65 incl.	150	65
	ASTM A 1011 HSLAS-F	Grado 50		Más de 2-1/2	Más de 65	225	110
	ASTM A 1018 HSLAS	Grado 45 Clase 1 Grado 45 Clase 2 Grado 50 Clase 1 Grado 50 Clase 2 Grado 55 Clase 1 Grado 55 Clase 2					
	ASTM A 1018 HSLAS-F	Grado 50					
	ASTM A 1018 SS	Grado 30 Grado 33 Grado 36 Grado 40					
	API 5L	Grado B Grado X42					
	API Spec. 2H	Grados 42, 50					
	API 2MT1	Grado 50					
	API 2W	Grados 42, 50, 50T					
	API 2Y	Grados 42, 50, 50T					
	ABS	Grados AH 32 & 36 DH 32 & 36 EH 32 & 36					
	ABS	Grados A, B, D, CS, DS Grado E					

(Continuado)

Continuación de la tabla X.

C a t e g o r í a	Especificación de Acero		Proceso de Soldadura	Espesor de Sección Mas Gruesa en el Punto de Soldadura		Temperatura Mínima de Pre calentamiento y de Interpase	
				pulg.	mm	°F	°C
	C	ASTM A 572 ASTM A 633 ASTM A 913 <sup>b</sup> ASTM A 710  ASTM A 710  ASTM A 709 <sup>c</sup> ASTM A 852 <sup>c</sup> ASTM A 1018 HSLAS ASTM A 1018 HSLAS-F API 2W API 2Y API 5L	Grados 60, 65 Grado E Grados 60, 65 Grado A, Clase 2 (≤2 pulg. [50 mm])  Grado A, Clase 3 (>2 pulg. [50 mm]) Grado HPS70W  Grado 60 Clase 2 Grado 70 Clase 2 Grado 60 Clase 2 Grado 70 Clase 2 Grado 60 Grado 60 Grado X52	SMAW con electrodos bajos en hidrógeno SAW, GMAW, FCAW	1/8 a 3/4 incl.  Sobre 3/4 hasta 1-1/2 incl.  Sobre 1-1/2 hasta 2-1/2 incl.  Sobre 2-1/2	3 a 20 incl.  Sobre 20 hasta 38 incl.  Sobre 38 hasta 65 incl.  Sobre 65	50   150   225   300
D	ASTM A 710 ASTM A 913 <sup>b</sup>	Grado A (Todas las clases) Grados 50, 60, 65	SMAW, SAW, GMAW, y FCAW con electrodos o combinaciones de fundente y electrodo capaces de depositar material de soldadura con un contenido máximo de hidrógeno difusible de 8ml/100 g (H8), cuando se hacen los ensayos acordes con AWS A4.3.	Todos los espesores ≥ 1/8 pulg. [3 mm]		32 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Cuando la temperatura del metal sea menor de 32°F [0°C], el metal de base tiene que se pre calentado a un mínimo de 70°F [20°C], y la temperatura mínima de interpase debe ser constante durante el transcurso de la soldadura.

<sup>b</sup> Las limitaciones de aporte de calor de 5.7 no aplican al ASTM A 913.

<sup>c</sup> Para el ASTM A 709 Grado HPS70W y ASTM A 852, la temperatura máxima de pre calentamiento y de interpase no deben sobrepasar los 400°F [200° C] para un espesor hasta 1-1/2 in [40 mm], inclusivo, 450 F [230 C] para espesores mayores.

Notas:

1. Para modificaciones de requerimientos de pre calentamiento para SAW con electrodos paralelos o múltiples, ver 3.5.2.
2. Ver 5.12.2 y 5.6 para requerimientos ambientales y temperaturas de metal de base.
3. Los ASTM A 570 y ASTM A 670 han sido borrados.

Fuente: *Código para soldadura estructural*. [www.soldaceros.com.pe/wp-content/uploads/2015/09/ANSI-AWS-D1.1.-2000.pdf](http://www.soldaceros.com.pe/wp-content/uploads/2015/09/ANSI-AWS-D1.1.-2000.pdf). Consulta: 2 de mayo de 2017.

#### **4.5. Requerimientos generales de un WPS**

Los requerimientos que se deben tomar en cuenta a la hora de realizar un WPS, pueden ser desde diferentes posiciones de soldadura (plana, vertical, horizontal y sobre cabeza), que son dependientes del trabajo a realizar, hasta el tipo específico de soldadura y el proceso que se debe utilizar; esta información se tiene previamente calificada, debido a que todas estas variables que se involucran en la elaboración del documento han sido ensayadas y aprobadas por AWS D1.1

- Wps precalificado

A continuación, se lista una tabla con todos los requerimientos que se deben cumplir para obtener un WPS precalificado por la *American Welding Society* (AWS).



Tabla XI. **Requerimientos para un WPS precalificado**

Variable	Posición	Tipo de Soldadura	SMAW	SAW <sup>d</sup>			GMAW/ FCAW <sup>e</sup>
				Individual	Paralelo	Múltiple	
Máximo Diámetro de Electrodo	Plana	Filete <sup>a</sup>	5/16 pulg. [8.0 mm]	1/4 pulg. [6.4 mm]			1/8 pulg. [3.2 mm]
		de Canal <sup>a</sup>	1/4 pulg. [6.4 mm]				
		Pase de raíz	3/16 pulg. [4.8 mm]				
	Horizontal	Filete	1/4 pulg. [6.4 mm]	1/4 pulg. [6.4 mm]			1/8 pulg. [3.2 mm]
		de Canal	3/16 pulg. [4.8 mm]				
	Vertical	Todas	3/16 pulg. [4.8 mm] <sup>b</sup>	Requiere Ensayo de Calificación WPS			3/32 pulg. [2.4 mm]
Sobrecabeza	Todas	3/16 pulg. [4.8 mm] <sup>b</sup>	5/64 pulg. [2.0 mm]				
Máxima Corriente	Todas	Filete	Entre en el rango de operación recomendado por el fabricante del metal de aporte	1000 A	1200A	Ilimitado	Entre en el rango de operación recomendado por el fabricante del metal de aporte
	Todas	Soldadura de canal con pase de raíz con separación		600A	700A		
		Soldadura de canal con pase de raíz y sin separación			900A		
		Pases de relleno en soldadura de canal			1200A		
		Pases de cobertura en soldadura de canal			Ilimitado		
Máximo Espesor de Pase de Raíz <sup>d</sup>	Plana	Todas	3/8 pulg. [10 mm]	Ilimitado			3/8 pulg. [10 mm]
Máximo Espesor de Pase de Relleno	Horizontal	Todas	5/16 pulg. [8 mm]	Ilimitado			5/16 pulg. [8 mm]
	Vertical	Todas	1/2 pulg. [12 mm]	Ilimitado			1/2 pulg. [12 mm]
	Sobrecabeza	Todas	5/16 pulg. [8 mm]	Ilimitado			5/16 pulg. [8 mm]
	Todas	Todas	3/16 pulg. [5 mm]	1/4 pulg. [6 mm]	Ilimitado		1/4 pulg. [6 mm]
Máximo Tamaño de Soldadura de Filete de Pase <sup>c</sup> Simple (Único)	Plana	Filete	3/8 pulg. [10 mm]	Ilimitado			1/2 pulg. [12 mm]
	Horizontal		5/16 pulg. [8 mm]	5/16 pulg. [8 mm]	1/2 pulg. [12 mm]	3/8 pulg. [10 mm]	
	Vertical		1/2 pulg. [12 mm]	Ilimitado			1/2 pulg. [12 mm]
	Sobrecabeza		5/16 pulg. [8 mm]	Ilimitado			5/16 pulg. [8 mm]
Máximo Ancho de Capa de Paso Simple (Único)	Todas (para GMAW/FCAW) F & H (para SAW)	Abertura de raíz > 1/2 pulg. [12 mm], o	Dividir capas	Electrodos desplazados lateralmente o dividir capas	Dividir capas	Dividir capas	
		Cualquier capa para de anchura (w)	Dividir capas si w > 5/8 pulg. [16 mm]	Dividir capas con electrodos tándem si w > 5/8 pulg. [16 mm]	Si w > 1 pulg. [25 mm], dividir capas	(Nota e)	

<sup>a</sup> Excepto para pases de raíz.  
<sup>b</sup> 5/32 pulg. [4.0 mm] para EXX 14 y electrodos bajos hidrógeno.  
<sup>c</sup> Ver 3.7.3 para requerimientos para soldar ASTM A 588 sin pintura y expuestos.  
<sup>d</sup> Ver 3.7.2 para limitaciones de ancho-a-profundidad.  
<sup>e</sup> En la posiciones F, H u OH para no-tubulares, dividir capas cuando el ancho de la capa w > 5/8 pulg. [16 mm]. En la posición vertical para no-tubulares, o la posición plana, vertical, horizontal o sobrecabeza para tubulares, dividir las capas cuando el ancho w > 1 pulg. [25 mm].  
<sup>f</sup> Zona en gris indica no-aplicabilidad.  
<sup>g</sup> GMAW-S no está precalificado.

Fuente: *Código de soldadura estructural*. [https://pubs.aws.org/Download\\_PDFS/D1.1-D1.1M-2010-SP-PV.pdf](https://pubs.aws.org/Download_PDFS/D1.1-D1.1M-2010-SP-PV.pdf). Consulta: 15 de mayo de 2017.

#### **4.6. Preparación del WPS**

Todas las variables que se han descrito representan un efecto significativo en la calidad del trabajo de soldadura; sin embargo, es conveniente mencionar que en un producto terminado están involucrados otros procesos, estos pueden ser críticos para cumplir con la calidad deseada. Es por esta razón que toda empresa debe contar con las herramientas que garanticen la preparación adecuada para obtener una buena calidad del trabajo y como parte de una buena estrategia de planificación en cualquier línea de producción que se dedique a la fabricación de acero estructural no debe faltar el desarrollo y la ejecución de un WPS.

Hasta este punto del documento se ha explicado todas las propiedades mecánicas de una adecuada soldadura pero para llegar a estas propiedades estas deben de alcanzar la fusión y así lograr la resistencia deseada, el nivel requerido penetración está en función del diseño de la junta en el tipo de soldadura. Se sabe que todas las soldaduras son requeridas para entregar resistencia a la tracción y/o fluencia. El método más eficiente para presentar estas condiciones pueden determinarse por técnicos de soldadura expertos e ingenieros quienes detallan las especificaciones de los procedimientos de soldadura y comunican aquellos requerimientos a los técnicos soldadores por medio de los documentos WPS.

Como se menciona, un WPS es la herramienta primaria utilizada para informar al supervisor y al técnico soldador las especificaciones que se deben cumplir; es importante que se aclare que la conveniencia de una soldadura realizada por un hábil soldador es tan buena como lo sería el mismo documento WPS.

Los WPS precalificados son aquellos que el código AWS D1.1 ha determinado y tiene una historia de ejecución aceptable; por lo tanto, no están sujetos a ser sometidos a pruebas o a una calificación impuesta por otros procedimientos de soldadura como lo pueden ser los PQR; según en esta información el código AWS D1.1 enlista una serie de WPS ya precalificado de los cuales se necesita tener conocimiento.

- WPS para proceso SMAW, SAW, GMAW, (excepto GMAW-S) y FCAW que se ajustan a todas las provisiones de la sección 3 del código AWS D1.1 deben considerarse como precalificados y, por lo tanto, son aprobados para su uso sin llevar a cabo ensayos de calificación (AWS D1.1/D1.1 M:2010 página 61).
- Combinación de metal base/metal de aporte. Solo los metales base y los metales de aporte enlistados en la tabla 3.1 del código AWS D1.1 pueden utilizarse en WPS precalificados página 61. Tabla 3.1, páginas 67, 68, 69 y 70 (AWS D1.1/D1.1 M: 2010).
- Requerimientos de la temperatura mínima de precalentamiento e interpase. La temperatura de precalentamiento e interpase deben ser suficientes para prevenir fisuración. La tabla 3.2 del código AWS D1.1 debe utilizarse para determinar las temperaturas mínimas de precalentamiento e interpase para los aceros enlistados. Tabla 3.2, páginas 71, 72 y 73 (AWS D1.1/D1.1 M: 2010).
- Requerimientos generales de WPS. Todos los requerimientos de la tabla 3.7 del código AWS D1.1 deben cumplirse para WPS precalificados. Tabla 3.7, páginas 76 (AWS D1.1/D1.1 M: 2010).

- Requerimientos de soldadura de canal a penetración completa o CJP, por sus siglas en inglés (*complete Joint Penetration*), la soldadura de canal CJP que pueden utilizarse sin realizar el ensayo de calificación, deben ser como se detalla en la figura 3.4 y están sujetos a las limitaciones descritas en 3.13.1, página 65 (AWS D1.1/D1.1 M: 2010).

Si los detalles de las juntas precalificados son empleados, el procedimiento de soldadura se debe tomar por aceptable debido a que todo esto ya ha sido aprobado por el código AWS D1.1 y esta es la intención de la precalificación, dar una salida viable al ejecutor de soldadura, sin tener que invertir en ensayos, no siempre realizables, si se desea cambiar algún detalle en la realización del proceso y este no se encuentra enlistado en el código. Se deberá calificar mediante ensayos y pruebas.

- Tratamiento térmico postsoldadura

El tratamiento térmico postsoldadura PWHT (*post weld head treatment*) debe ser precalificado siempre que sea aprobado por el ingeniero y se cumpla con las siguientes condiciones.

- Resistencia a la fluencia mínima específica del metal base no debe exceder 50ksi (345Mpa), página, 65 (sección 3.14 AWS D1.1/D1.1M:2010)
- El metal base no debe ser fabricado mediante Q&T (temple y revenido), Q&ST (temple y autorevenido), TMCP (procesamiento termomecánico controlado) o donde se utilice el trabajo en frío para alcanzar propiedades mecánicas mayores, página 65 (sección 3.14 AWS D1.1/D1.1M:2010)

- Debe haber datos disponibles que demuestren que el metal de soldadura debe tener una adecuada resistencia y ductilidad en la condición PWHT (*post weld head treatment*) como se puede encontrar en la especificación y clasificación del metal de aporte AWS A5.X relevante o del fabricante de metal de aporte, página 65 (sección 3.14 AWS D1.1/D1.1M:2010).
- PWHT (*post weld head treatment*) debe llevarse a cabo en conformidad con la sección 5.8 del código AWS D1.1, página 65 (sección 3.14 AWS D1.1/D1.1M:2010).

## **5. CALIFICACIÓN**

### **5.1. Alcance**

El proceso de soldadura que se utiliza se le conoce como GMAW; este proceso ya cuenta con una precalificación por el código AWS D1.1 y se debe utilizar la maquinaria que cumpla con los parámetros estipulados.

Se quiere resaltar que a lo largo de este trabajo se ha enfocado en explicar la importancia que tiene la elaboración de un documento técnico que cumpla con procesos y procedimientos de soldadura bajo estándares de calidad reconocidos; al implementar un WPS como control en los procesos de soldadura se garantiza la eficiencia y la calidad del trabajo. Con esto se tendrá el conocimiento de las variables que se utilizarán para un determinado proceso y de garantizar la obtención de los resultados deseables.

La intención es que este documento es la base para la implementación de cómo crear un WPS enfocando estrictamente a la empresa Metal, S. A.; en los siguientes incisos se detalla toda la información que se necesita para la creación de esta valiosa herramienta en la línea de producción; por supuesto, antes se ha realizado un reconocimiento con el proceso que se aplica en la planta de producción de dicha empresa.

## 5.2. Requerimientos para WPS y calificación del desempeño del personal de soldadura

Tabla XII. Modelo de WPS para empresa metal S.A.

**METAL, S. A.** ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)  
 FORMATO AWS D1.1 PRECALIFICADO  CALIFICADO MEDIANTE PRUEBAS

WPS No. \_\_\_\_\_ Revisión \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_  
 Proceso de soldadura: \_\_\_\_\_ Tipo: Manual  Semi-Automática   
 Técnico Soldador : \_\_\_\_\_ Máquina  Automática

<b>DISEÑO DE LA UNIÓN</b> Tipo _____ Sencilla <input type="checkbox"/> Doble <input type="checkbox"/> Respaldo Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Material de Respaldo _____ Separación de la Raíz _____ Hombro _____ Angulo de la Unión _____ Radio (J-U) _____ Saneamiento de la Raíz Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	<b>POSICIÓN</b> Posición de ranuras _____ Filete _____ Progresión: Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>
<b>MATERIAL BASE</b> Especificación _____ Tipo de grado _____ Espesor de ranura _____ Filete _____ Diámetro (Tubo) _____	<b>CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS</b> Modo de transferencia (GMAW): Voltaje _____ Amperaje _____ Velocidad _____
<b>PROTECCIÓN DEL ARCO</b> Fundente: _____ Gas _____ Composición _____ Electrodo Fundente (Clase) Flujo _____	<b>TRATAMIENTO TERMICO</b> Temperatura: _____ Tiempo: _____
	<b>PRECALENTAMIENTO</b> Temp. De Pre calentamiento _____ Temp. Entre pasos: Min. _____ Max. _____
	<b>MATERIALES DE APORTE</b> Especificación AWS _____ Clasificación AWS _____

### PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Pase	Proceso	MATERIAL DE APORTE		CORRIENTE			Vel. De Avance (pulg/min)	DETALLE DE LA UNIÓN
		Clase	Diámetro	Tipo y Polaridad	Amps	VOLTS		

Elaborado por:

Aprobado por:

Fuente: elaboración propia.

### **5.3. Métodos de ensayo y criterios de aceptación para la calificación del WPS**

Los métodos se refieren al listado de variables debidamente precalificadas por el código estructural que se le entregan al técnico soldador. Cabe aclarar que aun un WPS bien diseñado podría tener algunas diferencias en el producto final y esto se deriva a un factor humano, debido a que los técnicos poseen distintas habilidades; el WPS tiene una gran similitud a una receta de cocina donde el ingeniero de producción coloca todos los ingredientes que se necesitan para fabricar lo que el ingeniero estructural ha diseñado.

El ingeniero estructural tiene la responsabilidad de indicar dimensiones de la soldadura y su resistencia pero no debe describir el proceso ya que esa función le corresponde al ingeniero de producción.

La utilización de variables ya precalificadas no necesitará una calificación posterior como un PQR. Esto se debe a que se utilizarán todos los materiales y se realizarán todos los procesos que se encuentran aprobados ya que han sido previamente calificados por el código AWS D1.1.

La certificación de un soldador tampoco es evaluada por el WPS ni el PQR; para este procedimiento existen entidades privadas especializadas en soldadura que emiten dicha certificación.

Como punto final se quiere hacer la aclaración del porqué este trabajo se basa en el código AWS y no en el ASME, esto corresponde a que la Sociedad Americana de Ingenieros garantiza la calidad final del trabajo y la Sociedad Americana de Soldadura garantiza que todo el proceso sea llevado a cabo bajo todos los estándares previamente calificados.





## CONCLUSIONES

1. El acero con bajo contenido de carbono tiene poca predisposición a formar estructuras frágiles; los fundamentos básicos que se deben tomar en cuenta son el porcentaje de la aleación y el contenido de carbono; con esta información se clasificarán los aceros que son aptos para soldabilidad.
2. Al realizar una unión a tope en acero A36 o A992 representa una serie de eventos y variables que influirán en el producto terminado. Y la manera de mantener esa calidad constante es por medio de procedimientos normados que describan en una serie de pasos todos los detalles que se deberán cumplir para obtener una calidad constante; esto se logrará con la creación de un WPS, en otras palabras, este documento se asegura que se esté siguiendo un procedimiento precalificado para obtener un resultado muy similar a lo que ya ha sido aprobado y avalado por la AWS.
3. El acero estructural puede tener una variación de porcentajes de diferentes minerales que forman parte de su composición; el más relevante siempre será el porcentaje de carbono que contenga su estructura; el código de la AWS realizó las pruebas necesarias para elegir el material base que concluyó que los aceros que se detallan en este documento no necesitan precalentamiento bajo el criterio de carbono equivalente y esto se debe a que el porcentaje de carbono en su estructura es tan pequeño que al aplicarle calor no formará estructura martensíticas.

4. La importancia de la creación de un documento bajo condiciones precalificadas que mantiene los estándares y se siguen las instrucciones detalladas por el código AWS, para garantizar la calidad del proceso descrito y del producto terminado.
5. En la tabla XII, se describe detalladamente el contenido de un formulario WPS que cuenta con la explicación técnica y teórica de cómo trabajar soldadura con acero A36 y A992, aceros que tienen un punto de fluencia  $f_y = 36\ 000$ ,  $f_y = 50\ 000$  respectivamente.
6. Se logró establecer el criterio para aplicar soldadura en uniones a tope de patines de  $\frac{1}{2}$  a  $\frac{3}{4}$  de pulgada en acero A36 y A992 para no variar la calidad del producto final.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda tener presente el certificado de calidad del acero estructural antes de iniciar el proceso de un trabajo de soldadura para corroborar que se puedan aplicar los conocimientos sobre acero dulce o acero con bajo contenido de carbono.
2. Se recomienda la explicación detallada a los técnicos soldadores sobre la manera correcta de interpretar la información que detalla el documento WPS para evitar cualquier procedimiento no aprobado o que esté fuera de la precalificación de AWS.
3. No se recomienda la aplicación de calor antes de iniciar un proceso de soldadura debido a que el acero que se describe en este trabajo no contiene alta concentración de carbono en su estructura interna como para que se dé la creación de tensiones internas muy severas en la etapa de enfriamiento.
4. Es importante la capacitación continua del personal del ingeniero de producción y de los técnicos soldadores para la utilización de parámetros preestablecidos; con esto se puede obtener una mejor interpretación del documento WPS por las partes involucradas en el proceso.
5. Es importante no omitir ninguno de los criterios que se han descrito en el presente trabajo debido a que ciertos elementos soldables pueden presentar fallas severas en su integridad o calidad y como tal comprometer la integridad de la estructura dando como resultado accidentes de magnitudes sumamente severas.



## BIBLIOGRAFÍA

1. America Welding Society. *Código de soldadura estructural. Acero*. Miami, Florida: America Welding Society, 2010. 566 p.
2. ANSI/AISC 360-10. *Specification for structural steel buildings*. Illinois, Chicago: An American National Standard, 2010. 609 p.
3. *ArceloMittal*. [En línea]. <[www.constructalia.com/espanol](http://www.constructalia.com/espanol)>. [Consulta: 15 de julio de 2016].
4. *Auto-Deltaweld 452 / 460V*. [En línea]. <[img1.wfrcdn.com/docresources/1865/14/142289.pdf](http://img1.wfrcdn.com/docresources/1865/14/142289.pdf)>. [Consulta: 6 de enero 2017].
5. *Boquillas para cortar con oxígeno*. [En línea]. <[http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/080/htm/sec\\_6.htm](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/080/htm/sec_6.htm)>. [Consulta: 30 de enero de 2017].
6. BUDYNAS, Richard G.; NISBETT, J. Keith. *Diseño en ingeniería mecánica de Shingley*. 8a ed. México: McGraw-Hill, 2015. 1092 p.
7. *Código para soldadura estructural*. [En línea]. <[www.soldaceros.com.pe/wp-content/uploads/2015/09/ANSI-AWS-D1.1.-2000.pdf](http://www.soldaceros.com.pe/wp-content/uploads/2015/09/ANSI-AWS-D1.1.-2000.pdf)>. [Consulta: 6 de marzo de 2017].
8. *Compost a Je – Scribd*. [En línea]. <<https://es.scribd.com/document/336384980/Compost-a-Je>>. [Consulta: 3 de abril de 2017].

9. *Elección de tipos de aceros para estructuras*. [En línea]. <<https://www.gerdau.com/gerdaucorsa/es/productsservices/.../eleccion-tipo-de-acero.pdf>>. [Consulta: 28 de febrero de 2017].
10. *Estructuras cristalinas*. [En línea]. <[http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2013/cml/3-Estructuras\\_Cristalinas.pdf](http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2013/cml/3-Estructuras_Cristalinas.pdf)>. [Consulta: 10 de febrero de 2017].
11. GIL, Hermógenes. *Soldadura: principios, técnicas y equipos*. España: Ediciones Ceac, 2005. 401 p.
12. *Inspección visual en soldadura*. [En línea]. <<https://josecarlosroble.wordpress.com/2012/07/14/inspeccion-visual-en-soldadura-imperfecciones-mas-usuales>>. [Consulta: 20 de marzo de 2017].
13. LOUREIRO, Mario. *Manual de soldadura*. Perú: Oerlikon, 1999. 156 p.
14. *Manual del operador Miller*. [En línea]. <[www.manualsbase.com/es/manuals/3934/197/miller\\_electric/welding\\_system/](http://www.manualsbase.com/es/manuals/3934/197/miller_electric/welding_system/)>. [Consulta: 3 de enero de 2017].
15. *Metales líquidos*. [En línea]. <<https://www.taringa.net/Ciencia-y-educación>>. [Consulta: 2 de febrero de 2017].
16. *Precalificación de WPS*. [En línea]. <<https://es.scribd.com/document/316339727/Precalificacion-de-WPS>>. [Consulta: 15 de abril de 2017].

17. *Protección de los ojos contra la energía radiante*. [En línea]. <[https://www.osha.gov/Publications/OSHA\\_FS-3588.pdf](https://www.osha.gov/Publications/OSHA_FS-3588.pdf)>. [Consulta: 21 de enero de 2017].
18. *Soldadura y tecnología*. [En línea]. <[soldaduraytecnologias.blogspot.com/](http://soldaduraytecnologias.blogspot.com/)>. [Consulta: 25 de marzo de 2017].
19. *Tecnología industrial*. [En línea]. <[http://tecnologiasselectividad.blogspot.com/2009\\_11\\_01\\_archive.html](http://tecnologiasselectividad.blogspot.com/2009_11_01_archive.html)>. [Consulta: 12 de febrero de 2017].
20. *Tipos de alambre utilizado con soldadura*. [En línea]. <[www.demaquinasyherramientas.com](http://www.demaquinasyherramientas.com) › Soldadura>. [Consulta: 3 de marzo de 2017].
21. Universidad Tecnológica de Pereira. *Metalografía*. [En línea]. <<http://blog.utp.edu.co/metalografia/capitulo-18-soldadura-metalurgia-de-la-soldadura-procesos-de-soldadura-soldabilidad>>. [Consulta: 15 de marzo de 2017].





# APÉNDICES

## Apéndice 1. Formulario WPS Metal, S. A.

### METAL, S. A.

FORMATO AWS D1.1

WPS No. 1

Proceso de soldadura: PEPRO ESTRODA

Técnico Soldador: PEPRO ESTRODA

### ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

PRECALIFICADO  CALIFICADO MEDIANTE PRUEBAS

Revisión 5 Fecha 20/6/17

Tipo: Manual  Semi-Automática  Máquina  Automática

<b>DISÑO DE LA UNIÓN</b> Tipo <u>A TOPE</u> Sencilla <input checked="" type="checkbox"/> Doble <input type="checkbox"/> Respaldo Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Material de Respaldo _____ Separación de la Raiz _____ Hombro _____ Angulo de la Unión _____ Radio (J-U) _____ Saneamiento de la Raiz Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	<b>POSICIÓN</b> Posición de ranuras <u>1G</u> Filete _____ Progresión: Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>
<b>MATERIAL BASE</b> Especificación <u>A36</u> Tipo de grado <u>36</u> Espesor de ranura <u>1/2"</u> Filete _____ Diámetro (Tubo) _____	<b>CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS</b> Modo de transferencia (GMAW): Voltaje <u>22.7</u> Amperaje <u>3.3</u> Velocidad <u>2.5 P19/min</u>
<b>PROTECCIÓN DEL ARCO</b> Fundente: _____ Gas <u>CO2</u> Composición: _____ Electrodo Fundente (Clase) Flujo _____	<b>TRATAMIENTO TERMICO</b> Temperatura: _____ Tiempo: _____
<b>PRECALENTAMIENTO</b> Temp. De Precalentamiento _____ Temp. Entre pasos: Min. _____ Max. _____	<b>MATERIALES DE APORTE</b> Especificación AWS <u>A5.18</u> Clasificación AWS <u>ER70S-6</u>

**PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA**

Pase	Proceso	MATERIAL DE APORTE		CORRIENTE			Vel. De Avance (pulg/min)	DETALLE DE LA UNIÓN
		Clase	Diámetro	Tipo y Polaridad	Amps	VOLTS		
1	GMAW	ER70S-6	1/16	DCEP	3.3	22.7	2.5	
2	GMAW	ER70S-6	1/16	DCEP	3.3	22.7	2.5	
3	GMAW	ER70S-6	1/16	DCEP	3.3	22.7	2.5	

Elaborado por:

Aprobado por:

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Parámetros de máquina *Miller Deltaweld 452***



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Alambre 1/16" en máquina *Miller Deltaweld 452***



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Polaridad “DCEP”** máquina *Miller Deltaweld 452*



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Cordón de soldadura terminada con máquina *Miller Deltaweld 452***



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Colocación de piezas con máquina semiautomática**  
*Miller Deltaweld 452*



Fuente: elaboración propia.