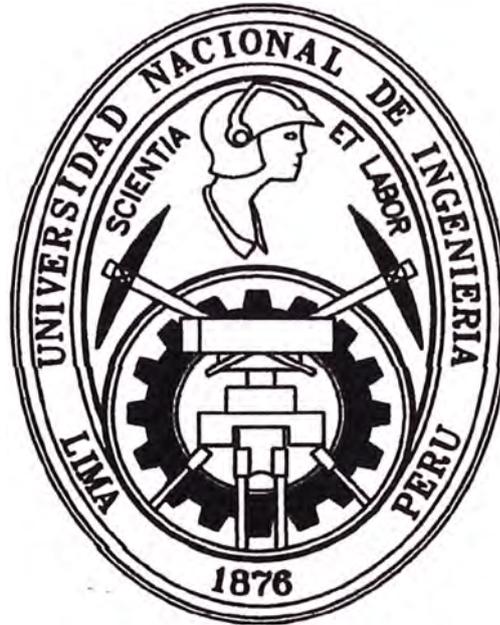


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**PROCESO FCAW MECANIZADO, ELABORACION DE  
PROCEDIMIENTO BAJO ASME IX , ANALISIS DE SU  
COSTE , PRODUCTIVIDAD Y APLICACIÓN EN LA  
FABRICACION DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE  
PETROLEO**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECANICO**

**JUAN CARLOS QUISPE LEON**

**PROMOCION 2012-I**

**LIMA-PERU**

**2014**

*Dedicado a mis Padres,*

*Celia y Evaristo, por haber sido y ser el apoyo y la fuerza  
que me permitió llegar hasta aquí.*

*A mis hermanos, por su entera confianza y cariño.*

## CONTENIDO

PROLOGO .....	1
CAPITULO I.....	4
INTRODUCCION.....	4
1.1 Antecedentes .....	4
<b>1.2 Justificación</b> .....	6
1.3 Planteamiento del Problema .....	7
<b>1.4 Objetivos</b> .....	9
CAPITULO II.....	12
PROCESO DE SOLDADURA FCAW (FLUX CORE ARC WELDING).....	12
2.1 Descripción y Denominaciones .....	12
<b>2.3 Modos de Transferencia</b> .....	16
<b>2.3.1 Transferencia en Corto Circuito</b> .....	17
<b>2.3.1 Transferencia Globular o Arco Largo</b> .....	18
<b>2.3.2 Transferencia por Spray o Pulverización</b> .....	19
<b>2.3.3 Transferencia por Arco Pulsado</b> .....	20
2.4 Parámetros de Control .....	22
2.4.1 Corriente de Soldadura .....	22
2.4.2 Voltaje de Arco .....	23
2.4.3 Extensión del Electrodo.....	23
2.4.4 Velocidad de Avance .....	24
2.4.5 <i>Flujo de Gas de Protección</i> .....	24
2.4.6 Velocidad de Deposición y Eficiencia .....	25

2.4.7	Angulo del Electrodo.....	25
2.4.8	Diseño de Junta.....	26
2.5	Defectos Típicos en las soldaduras.....	27
2.6.	Ventajas y Desventajas del Proceso FCAW.....	34
2.6.1	Ventajas.....	34
2.6.2	Desventajas.....	35
CAPITULO III.....		36
PRODUCTIVIDAD Y COSTOS EN SOLDADURA.....		36
3.1	<b>Productividad</b> .....	37
3.3	<b>Indicadores de Productividad y Estimación de Costos</b> .....	38
3.3.1	<b>Tasa de Deposición</b> .....	39
3.3.2	<b>Factor de Operación</b> .....	39
3.3.3	<b>Eficiencia de Deposición</b> .....	41
3.4	<b>Cálculo de los Costos de Soldadura</b> .....	42
3.4.1	Costos de por Mano de Obra.....	42
3.4.2	Costos por Gas de Protección.....	43
3.4.3	Costos por Electrodo.....	44
3.4.4	Costos por Energía Eléctrica.....	45
3.4.5	Costos Generales.....	46
CAPITULO IV.....		48
MECANIZACIÓN Y AUTOMATIZACION EN SOLDADURA.....		48
4.1	Clasificación de los Métodos de Soldeo.....	49
4.1.1	Soldadura Manual.....	49
4.1.2	Soldadura Semiautomática.....	49
4.1.3	Soldadura Mecanizada.....	49

4.1.4 Soldadura Automática .....	50
4.1.5 Soldadura Robótica.....	50
4.1.6 Soldadura por Control Adaptativo.....	50
4.2 Soldeo Mecanizado vs Soldeo Automatizado .....	52
4.3 Ventajas de la Mecanización y Automatización .....	59
<b>4.4 Equipos Para la Mecanización.....</b>	<b>59</b>
<b>4.4.1 Tractores de Soldadura (Welding Tractors).....</b>	<b>59</b>
<b>4.4.2 Transportadores Para toda Posición.....</b>	<b>60</b>
CAPITULO V .....	62
NORMAS Y CODIGOS PARA LAS CONSTRUCCIONES SOLDADAS .....	62
5.1 Origen de las Normas.....	63
<b>5.2 Códigos, Normas y Especificaciones.....</b>	<b>67</b>
<b>5.2.1 Códigos (Code).....</b>	<b>67</b>
<b>5.2.2 Norma (Stándar).....</b>	<b>68</b>
<b>5.2.3 Especificación.....</b>	<b>68</b>
<b>5.2.4 Prácticas Recomendadas.....</b>	<b>68</b>
<b>5.2.5 Clasificaciones.....</b>	<b>69</b>
5.2.6 Métodos y Guías.....	69
<b>5.3 Aplicabilidad de las Normas y Claves para su Interpretación .....</b>	<b>70</b>
5.4 Normalización , Códigos y Normas de Soldadura Utilizados en el Perú.....	74
5.4.1 Código Asme .....	76
5.4.5 Norma API 650.....	78
CAPITULO VI .....	79
NORMA ASME SECCION IX- CALIFICACION DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA .....	79

<b>6.1 Código ASME Sección IX</b> .....	80
<b>6.1.1 Alcances de la Sección IX</b> .....	81
<b>6.1.2 Índice de la Sección IX</b> .....	82
<b>6.1.3 Exclusiones de la Sección IX</b> .....	84
<b>6.2 Calificación de Procesos de Soldadura</b> .....	84
<b>6.2.1 Formatos de Calificación</b> .....	85
<b>6.2.2 Procedimiento de Calificación</b> .....	87
<b>CAPITULO VII</b> .....	93
<b>DESARROLLO EXPERIMENTAL</b> .....	93
<b>7.1 WPS</b> .....	94
<b>7.1.1 Resultados de los Ensayos y Registro del PQR</b> .....	95
<b>7.2 Cálculos y Resultados de los Índices de Productividad</b> .....	100
<b>7.3 Cálculo y Resultados de los Costes de Soldadura</b> .....	101
<b>CAPITULO VIII</b> .....	102
<b>APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO EN LA FABRICACION DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE PETROLEO</b> .....	102
<b>8.1 Resultados Obtenidos</b> .....	106
<b>CAPITULO IX</b> .....	108
<b>ANALISIS DE RESULTADOS</b> .....	108
<b>CONCLUSIONES</b> .....	110
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	114
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	116

ANEXOS ..... 118

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Proceso con alambre tubular autoprotegido .....	14
Figura 2.2 : Proceso con alambre tubular con protección gaseosa.....	14
Figura 2.3- Esquema de un Equipo para la Soldadura Automática.....	15
Figura 2.4- Modos de transferencia.....	16
Figura 2.5- Transferencia por Corto Circuito.....	18
Figura 2.6- Transferencia Globular .....	19
Figura 2.7- Transferencia por Spray.....	20
Figura 2.8- Transferencia del Metal por Arco Pulsado.....	21
Figura 2.9- Característica de la Transferencia por Arco Pulsado.....	21
Figura 3.1–Tasa de Deposición, Proceso FCAW protegido.....	39
Figura 3.1 –Equipo para soldeo de tuberías.....	57
Figura 4.2- Welding tractor, Marca Lincoln.....	60
Figura 4.3- Transportador marca BUGO.....	60
Figura 4.4- Transportador Marca RAIL BUL.....	61
Figura 4.5- Aplicación de transportadores en toda posición .....	61
Figura 7.1- Equipo Gullco GK-200FLC.....	95
Figura 7.2- Especímenes de ensayo de DobleZ.....	96
Figura 7.3- Ensayos de tracción, especímenes 1 y 2.....	97
Figura 8.1: Tanques de Almacenamiento de Petróleo.....	103
Figura 8.2: Cronograma de Fabricación usando Proceso semiautomático.....	104

Figura 8.3: Presupuesto de fabricación de Tanque Vertical, usando Proceso Semiautomático.....105

## PROLOGO

Durante años en la industria metalmecánica peruana se ha venido trabajando con los procesos convencionales de soldadura, SMAW, FCAW, TIG, etc, todas éstas de manera manual o semiautomática, encontrándose muchas veces con problemas, principalmente de índoles de baja productividad, baja calidad, alto desperdicio de consumibles y altos tiempos muertos de producción ,lo que lógicamente deriva en retrasos y costes mayores en los trabajos realizados.

Las indutrias relacionadas con los procesos productivos que involucran soldadura, como toda industria, trabajan con plazos de entrega y estándares de calidad que por contrato u órdenes de compra están obligadas a cumplir. Muchas veces, los contratistas encuentran problemas para satisfacer estos plazos y requerimientos; es por eso que muchos de ellos, en busca de garantizar la eficiencia de sus procesos de fabricación y asegurar la calidad de su producto, se han visto en la necesidad de estudiar la introducción de procesos de alta productividad y alta calidad de acabado de producto. Dichas procesos, que tienen como objetivo aumentar la productividad y reducir costos de soldadura en construcción, manufactura y otros tipos de industria son las denominadas, soluciones de mecanización y automatización que tienen aplicabilidad en los procesos estándar de soldeo por arco eléctrico como GMAW, FCAW y GTAW , que actualmente, en su mayoría son realizadas con métodos semiautomáticos.

Además, antes de la introducción de los nuevos procesos en la producción, primero se debe asegurar y comprobar que tales procesos nos darán productos de calidad que cumplan con los estándares requeridos.

Ahora, como sabemos que estándares debemos cumplir, o bajo que criterios debemos realizar nuestro trabajo. Existen documentos que gobiernan o establecen lineamientos para las actividades relacionadas con el sector industrial de la soldadura, los cuales tienen el propósito de asegurar que se producirán bienes soldados seguros y confiables y que las personas relacionadas con las operaciones de soldadura no estarán expuestas a riesgos o condiciones que pudieran resultar dañinas a su salud. Estos documentos, denominados Códigos, Normas o Prácticas Recomendadas son desarrolladas, publicadas y actualizadas por organizaciones y entidades gubernamentales y privadas y es deber de todo personal que participa en la producción de bienes soldados, ya sean diseñadores, fabricantes, proveedores de productos y servicios personal de montaje, soldadores o inspectores, conocer por lo menos las porciones particulares de las normas que aplican a sus actividades.

En el contexto, de que la mayoría de empresas metalmecánicas tienen como uno de sus principales productos de fabricación tanques de acero utilizados para almacenamiento de combustibles o algún otro líquido expuestos a la atmósfera, la presente tesis se centrará en encontrar un procedimiento de soldadura mecanizado que de alta productividad, calidad y que pueda usarse en la fabricación de dichos tanques, pero no limitado exclusivamente a éstos. Es así que se iniciará por dar la definición, características, parámetros ventajas y limitaciones del proceso de soldadura a usarse, el cual en este trabajo será el proceso FCAW, hablaremos también de la

clasificación de los métodos de soldeo, se estudiará los métodos mecanizados y automáticos, se analizará sus características , ventajas, desventajas, sus aplicaciones y de algunos equipos para la mecanización . Luego trabajaremos en el procedimiento de soldadura, nos centraremos también en el estudio de la norma bajo la cual debe ser calificada, daremos el concepto de normalización, entenderemos los conceptos de Código, Norma e Especificaciones para luego estudiar y analizar a fondo la norma ASME SECCION IX, que en este caso de tanques tiene la aplicabilidad, se estudiará y analizará los requerimientos de dicha sección, los parámetros que toma en cuenta y su metodología a seguir para la calificación de procedimientos de soldadura. Finalmente en esta primera parte, calificaremos un procedimiento de soldadura realizado con el proceso FCAW mecanizado y procederemos a registrarlo en un PQR.

Por otra parte, el otro gran objetivo de esta tesis será estudiar la productividad y los costes asociados al procedimiento elaborado. Para esto primero definiremos los conceptos de productividad en soldadura, índices de productividad, costos asociados al proceso de soldadura. Luego tomaremos las variables registradas en el PQR para luego proceder al cálculo de los índices y costos asociados al proceso.

Terminaremos mostrando los resultados, analizándolos y comparándolos con los valores que generalmente se obtienen en el proceso realizado de manera semiautomática, luego aplicaremos el procedimiento elaborado en la fabricación de tanques verticales de almacenamiento de líquidos, después de lo cual concluiremos con un análisis costo –beneficio el cual complementará y ratificará nuestras conclusiones técnicas

## CAPITULO I

### INTRODUCCION

#### 1.1 Antecedentes

Con el fin de aumentar la productividad, calidad y reducir costos de soldadura en construcción, manufactura y otros tipos de industria, en el mundo se han venido desarrollando nuevas aplicaciones para los procesos estándar de soldeo por arco eléctrico. Métodos que incrementan la productividad, reducen los costos y mejoran la calidad, incluyen mecanización o automatización de procesos GMAW, FCAW y GTAW que actualmente son realizadas con métodos semiautomáticos.

Particularmente en el Perú, durante años los tanques de almacenamiento se han venido construyendo usando el proceso manual SMAW, teniendo con esto elevados problemas de pérdida de material, muy baja productividad, alta tasa de reparación de

defectos que realizar luego del soldeo y muchas otras veces problemas en la consecución de personal con las habilidades y destrezas que éste proceso requiere. Con el pasar del tiempo, y debido a la alta necesidad de las empresas de elevar su competitividad, tanto en tiempos, costos y calidad de productos, para así poder asegurarse un lugar en los grandes proyectos mineros, pesqueros, industriales , petrolíferos y de infraestructura que empezaban a ejecutarse en el país, se iniciaron a implementar procesos de soldeo con menor desperdicio de material, alta productividad, alto control de calidad y menor tiempo de fabricación, traduciéndose todo esto en una disminución en los costes totales de producción. Entonces se pasó del soldeo manual mediante el proceso SMAW, al soldeo semiautomático ,en los años 90, con los procesos GMAW y FCAW, y actualmente se encuentra en pleno proceso de implantación y uso en la industria nacional los procesos de soldeo mecanizado.

Aplicaciones con el soldeo mecanizado, en el Perú podemos mencionar al Proyecto de la CENTRAL HIDROELECTRICA DE CHAGLLA que se inició en el 2011 , en el departamento de Huanúco en donde se utilizó el proceso de soldadura FCAW mecanizado, con máquinas Gullco modelo GK200-FLC, en el soldeo de las costuras verticales de las virolas que conformaban el cuerpo de la tubería forzada. Estas virolas eran de material S355JNO, espesor de 25mm, diámetro de 5m y longitud de 3m,y en su soldeo se utilizó material de aporte E71T-12MJ Exatub E71Ni de 1.6mm y gas de protección 80 % Ar, 20% CO2 y con el proceso mecanizado se alcanzó un alto factor de operación de 65% y una alta tasa horaria de deposición de 4kg/h.

## **1.2 Justificación**

Es bastante conocido que la robotización y/o mecanización incrementa la productividad y la calidad en muchos aspectos, es por eso que ahora la soldadura mecanizada puede considerarse como un sistema de fabricación flexible al que se están adaptando un número creciente de procesos. Factores como el excelente control de posicionamiento, flujo de material, parámetros de proceso y un muy buen seguimiento de trayectoria han introducido una mejora de calidad apreciable y la disminución de costes de fabricación debido a la minimización de trabajos de reparación y tiempos muertos. Pero el principal problema en el país es que el número de expertos en soldadura automática o mecanizada aún es todavía reducida y es debido a esto que muchas, pequeñas y medianas industrias, aún son renuentes a cambiar sus estandarizados métodos de fabricación. Es necesario entonces, estudiar y mostrar los grandes potenciales que tiene la soldadura mecanizada en nuestro medio, potenciales plasmados en índices de productividad y valores de costos asociados al proceso, los mismos que ayudarán en la decisión acerca de implementarlo o no.

Además en la carrera de la competitividad, también es muy importante la obtención de productos de calidad, que cumplan con los requerimientos de los estándares requeridos por los Códigos o Normas, internacionales o nacionales, que rigen las actividades productivas que involucran soldaduras. Tales códigos y normas nos darán, criterios de calificación de procedimientos de soldadura, métodos de trabajo y prácticas recomendadas para lograr en los productos la calidad buscada. Es en este

contexto, que se hace imprescindible, el estudio y conocimiento de los alcances y aplicaciones de éstos documentos, más aún de los comúnmente usados en el país, como lo son las normas AWS, ASME y API.

Además, debido a que uno de los productos mayormente fabricados en nuestra industria metalmecánica son los tanques para almacenamiento de líquidos o gases, y que éstos tienen características muy convenientes para soldarlos de manera mecanizada, como la repetibilidad de las soldaduras, así como la fácil accesibilidad a sus costuras. Es necesario conocer a profundidad la Norma ASME IX, para luego encontrar un procedimiento de soldeo mecanizado calificado y aplicarlo a la fabricación de éstos tanques y así mostrar los resultados obtenidos, y que éstos sirvan de base y comparación para futuros proyectos o fabricaciones susceptibles también de ser trabajados de ésta manera.

### 1.3 Planteamiento del Problema

Actualmente debido a la necesidad de encontrar procesos de soldadura más eficientes, más productivos, de menor coste y que hagan obtener costuras de calidad, las aplicaciones mecanizadas y automatizadas están hace algunos años encontrando varias aplicaciones, en distintos trabajos en el área metalmecánica. Pero a pesar de haber sido ya utilizados anteriormente, su uso aún no es muy difundido, y por ahora sólo se encuentra restringido a proyectos en obras de gran envergadura y aún no se tiene registro de su aplicación en talleres en donde se trabajan pequeños y medianos proyectos. Principalmente, esta poca difusión se debe al escaso conocimiento que hasta ahora se tiene de éstos procesos en el país, existe aún poca información acerca

de sus características, sus índices de productividad y costos asociados al momento de operación y los mismos asociados al proceso de su implementación , que nos permitan comparar y analizar la factibilidad de utilizarlos. Además tampoco se cuenta con mucha información, acerca de cómo escoger las variables para obtener un procedimiento de soldeo exitoso, y cómo usar las normas o códigos para respaldar y calificar éstos procedimientos.

## 1.4 Objetivos

### GENERALES

- Elaboración de un procedimiento de soldadura para el proceso FCAW mecanizado bajo el código de referencia ASME IX.
- Análisis de la productividad del proceso calificado, así como determinación de los costos asociados a ella.
- Aplicación del procedimiento de soldadura elaborado, en el soldeo de tanques de almacenamiento de combustibles

### ESPECIFICOS

- Estudio del proceso de soldadura FCAW, descripción de sus características, parámetros, aplicaciones, ventajas y limitaciones.
- Estudio de la norma de referencia ASME sección IX, análisis de los parámetros y pasos a tener en cuenta para la elaboración de un procedimiento de soldadura bajo dicha norma.
- *Estudio de la mecanización y automatización en soldadura, descripción de los métodos de soldeo ( manual, semiautomática, mecanizada, automática, etc), análisis de sus diferencias, ventajas y limitaciones.*
- Estudio y cálculo de los índices de productividad del proceso FCAW mecanizado, así como estudio y determinación de los costes asociados a este.

### 1.5 Limitaciones del Estudio

- La presente tesis empieza el trabajo de calificación de procedimiento de soldadura tomando como premisa que éste será usado en la fabricación de tanques de almacenamiento de combustibles u otros líquidos, no es objeto de estudio en esta obra el código de construcción API 650, el cuál norma , el diseño, fabricación, erección y criterios de inspección para éstos elementos. Sólo se aprovecha el hecho de que el código hace referencia a a la Norma ASME IX, para todo lo que tenga que ver con calificación de procesos de soldadura.
- En el cálculo de costos, esta obra sólo toma en cuenta los costos directamente asociados con el proceso de soldadura. No se pretende ahondar en los costos indirectos, ya que éstos son de características y valores diferentes para cada empresa.
- Además, tampoco se pretende ahondar en el cálculo de inversión inicial para la implementación del proceso de soldadura mecanizado, el presente trabajo aprovecha ya el hecho de que la compañía contaba en sus almacenes con el equipo necesario para la mecanización y con el personal capacitado para realizarla.

- El trabajo desarrollado está enteramente relacionado al método de soldeo mecanizado, no al automático o automatizado, sólo se lo menciona como referencia e información.

## CAPITULO II

### PROCESO DE SOLDADURA FCAW (FLUX CORE ARC WELDING)

#### 2.1 Descripción y Denominaciones

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

Este proceso combina las características del soldeo con electrodo revestido, el soldeo por arco sumergido y el soldeo MIG/MAG.

La técnica de soldeo con hilo tubular se diferencia del soldeo MIG/MAG en el tipo de electrodo que, como su nombre indica, en este caso, es un alambre hueco y relleno de fundente el cual, al fundirse por la acción del arco eléctrico, deposita un metal fundido protegido con una fina capa de escoria; podríamos decir que es como un electrodo revestido al revés. En el resto hay bastantes similitudes con el proceso MIG/MAG.

Como se ha dicho, dentro del proceso hay dos variantes .:

- Autoprotegido (self-shielded ó innershielded ), ver figura 2.1, que protege el baño de fusión gracias a la descomposición y vaporización del fundente

- Con protección de gas (gas-shielded ó outershielded ), ver figura 2.2, que suele ser CO<sub>2</sub> o mezclas de CO<sub>2</sub> y argón, que utiliza gas de protección además de la acción protectora del fundente.

Con ambos métodos el electrodo forma una escoria que cubre y protege el metal de soldadura hasta que solidifica y, en ambos casos, la protección del arco puede soportar el viento y los agentes atmosféricos en mayor medida que los procesos con protección gaseosa (TIG y MIG/MAG).

El proceso de soldeo por arco con alambre tubular **con** protección gaseosa se le conoce por los siguientes nombres

- FCAW-G, gas shielded flux cored arc welding ( ANSI/AWS A3.0 ).
- Soldero por arco con alambre tubular con protección de gas activo

El proceso de soldeo por arco con alambre tubular **sin** protección gaseosa se le conoce por los siguientes nombres

1. FCAW-S, self-shielded flux cored arc welding (ANSI/AWS A3.0 ).
2. Soldero por arco con alambre tubular sin protección gaseosa

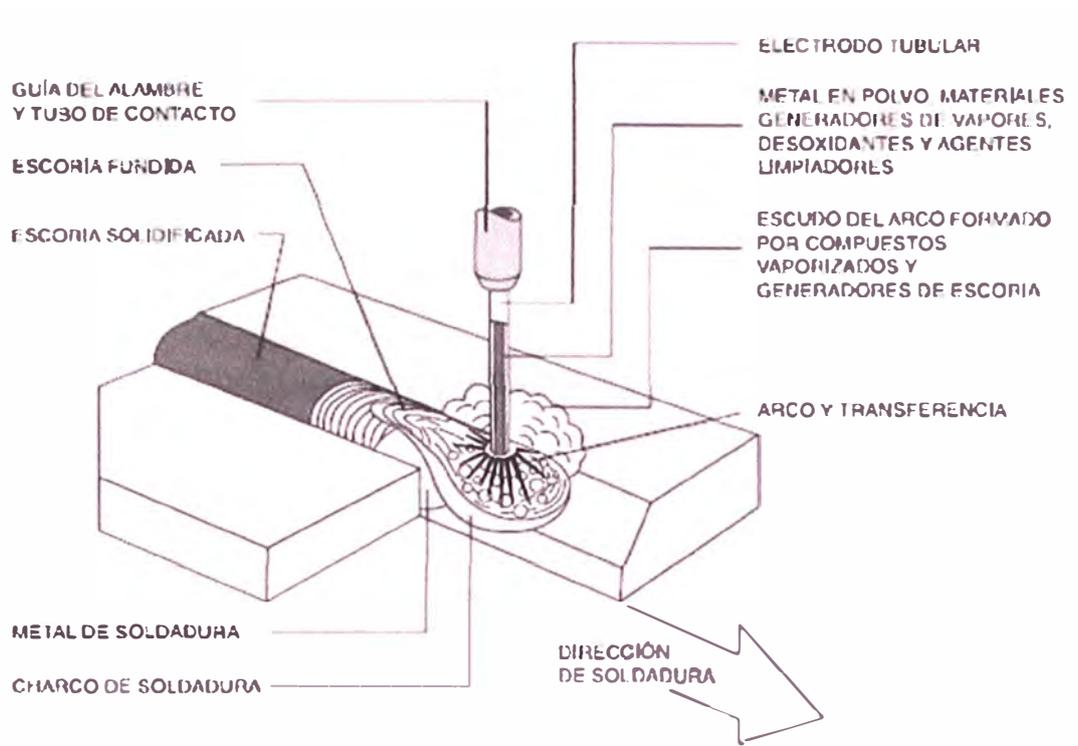


FIGURA 2.1: PROCESO CON ALAMBRE TUBULAR AUTOPROTEGIDO

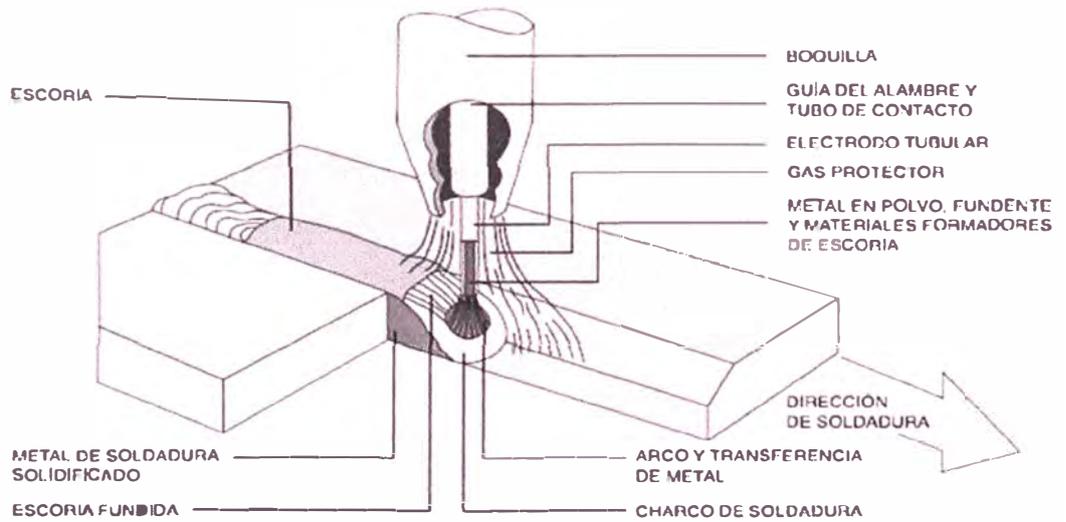


FIGURA 3.2 : PROCESO CON ALAMBRE TUBULAR CON PROTECCIÓN GASEOSA

## 2.2. Equipo de Soldeo

En la figura 2.3 se puede observar un ejemplo típico del equipo de soldeo FCAW

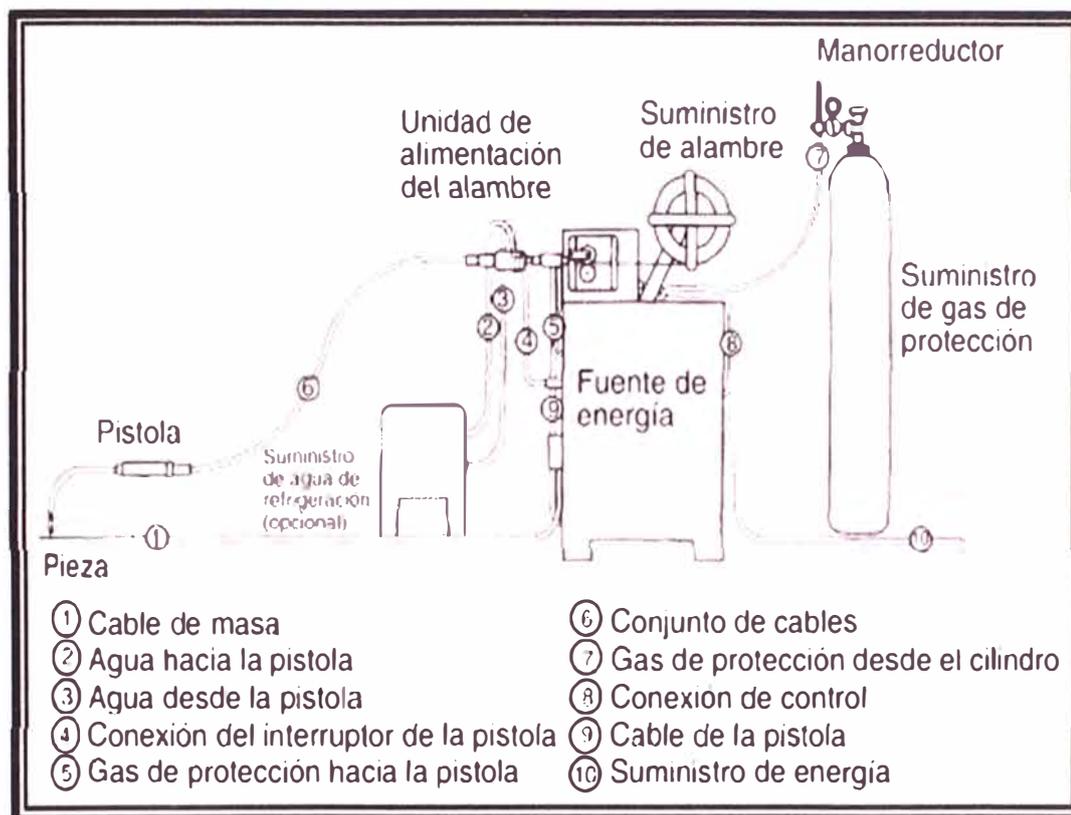


Figura 2.3- Esquema de un Equipo para la Soldadura Automática

Consta de:

- Fuente de energía o de poder.
- Suministro de gas de protección (en los casos de soldadura con alambres auto-protegidos se omite el gas de protección).
- Sistema de alimentación del alambre.
- Pistola o torcha (refrigerada por el propio gas de protección o por agua).
- Sistema de control de los parámetros de soldadura.
- Bobina del alambre/electrodo (pudiendo ser este sólido o tubular).

- Sistema de regulación de la presión y del caudal del gas de protección.
- Sistema de circulación y enfriamiento del agua de refrigeración (para el caso de usar pistolas o torchas refrigeradas a agua).
- Cables y mangueras

### 2.3 Modos de Transferencia

La transferencia de metal en el soldeo con alambre tubular se puede realizar de forma globular, spray, cortocircuito o por arco pulsado. El tipo de transferencia depende del tipo de fundente, del gas de protección, cuando se utiliza, y de la intensidad y tensión de soldeo.

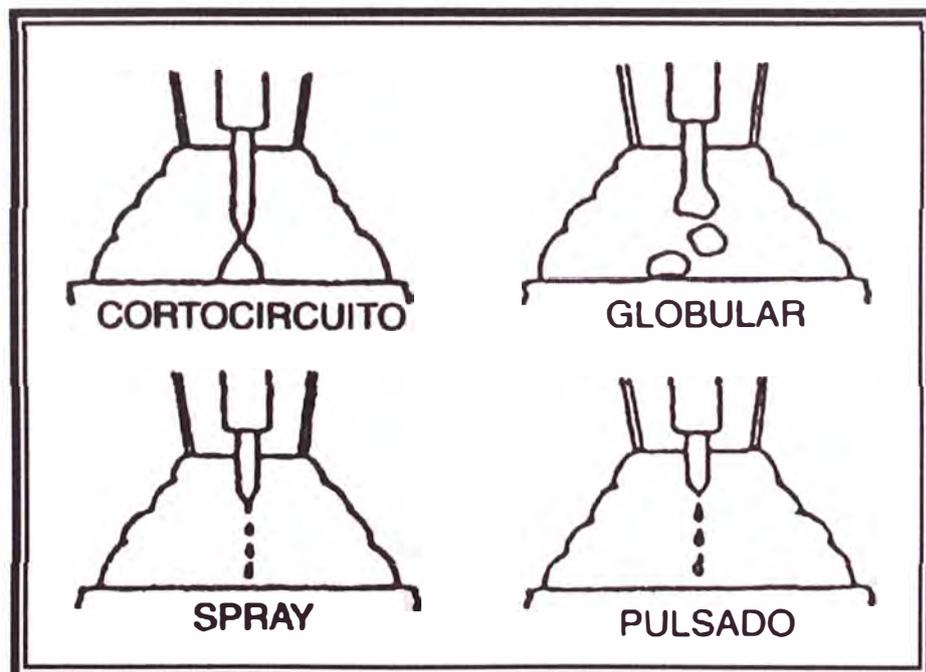


Figura 3.4- Modos de transferencia.

### **2.3.1 Transferencia en Corto Circuito**

La gota crece hasta tocar la pieza a soldar, produciendo una "carga de corto circuito" en la fuente de energía, haciendo por su vez que la densidad de corriente suba. A cierta densidad específica de la corriente, (ver figura: 2.5) las fuerzas eléctricas presentes hacen que la punta del alambre/electrodo y el cráter fundido se separen y se produzca un arco entre ellos. La corriente del arco baja entonces hasta que se produce un nuevo corta-circuito. Este tipo de transferencia se obtiene cuando la tensión (V) y la intensidad (I) son bajas. Se utiliza esta forma de transferencia, preferentemente, para la soldadura en posición vertical y sobre cabeza, y para la soldadura de espesores finos o cuando la separación de la raíz es excesiva. Los parámetros, generalmente utilizados son: Voltaje de 15 a 21 V; Intensidad de 50 a 160 A. Se obtienen buenas soldaduras más fácilmente con mezclas de CO<sub>2</sub> al 25% y Argón al 75%; el arco es corto, suele producir proyecciones y se escucha un zumbido característico. En la soldadura de espesores un poco elevados origina frecuentemente, falta de fusión o de penetración en la raíz y, esta última también en el borde superior del bisel.

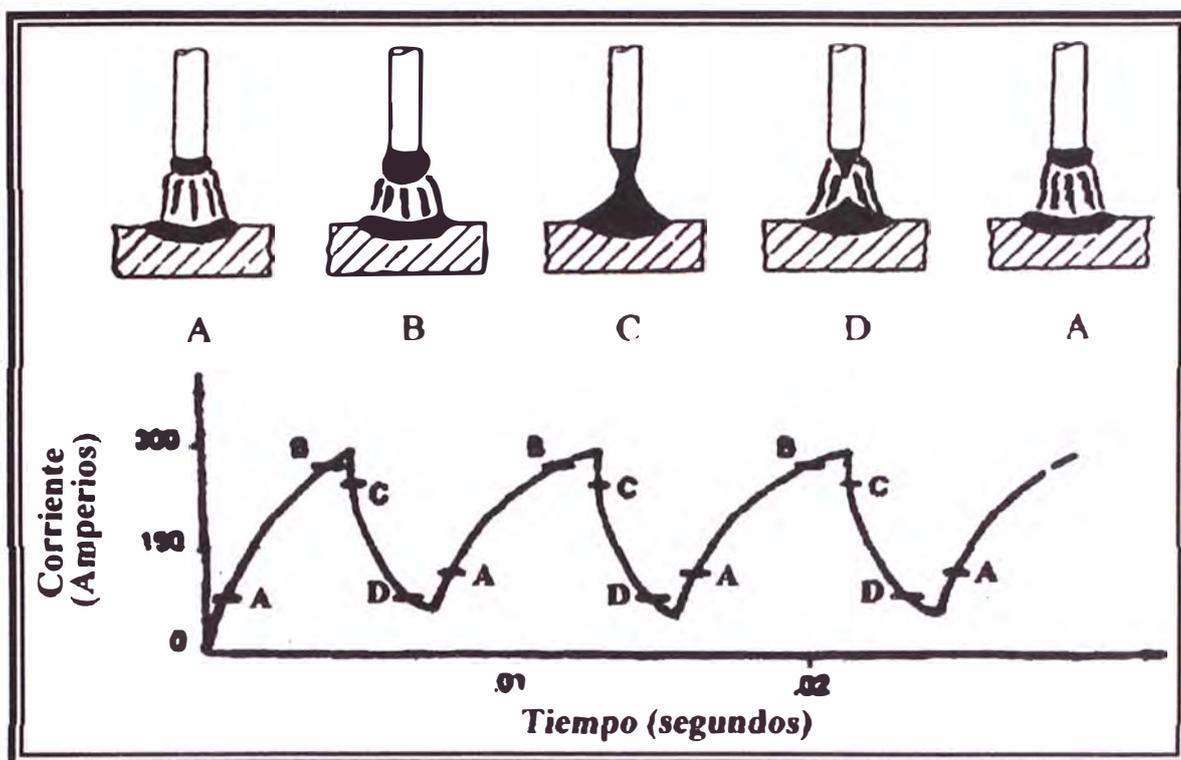


Figura 2.5- Transferencia por Corto Circuito

### 2.3.1 Transferencia Globular o Arco Largo

Se caracteriza por la formación de una gota relativamente grande de metal fundido en el extremo del alambre (ver figura: 2.6). La gota se va formando hasta que cae al baño fundido por su propio peso. Este tipo de transferencia no suele tener aplicaciones tecnológicas por la dificultad de controlar adecuadamente el metal de aportación y porque suele provocar falta de penetración y sobre espesores elevados. Los parámetros típicos son: Voltaje de 20 a 30 V; Intensidad de 110 a 225 A.

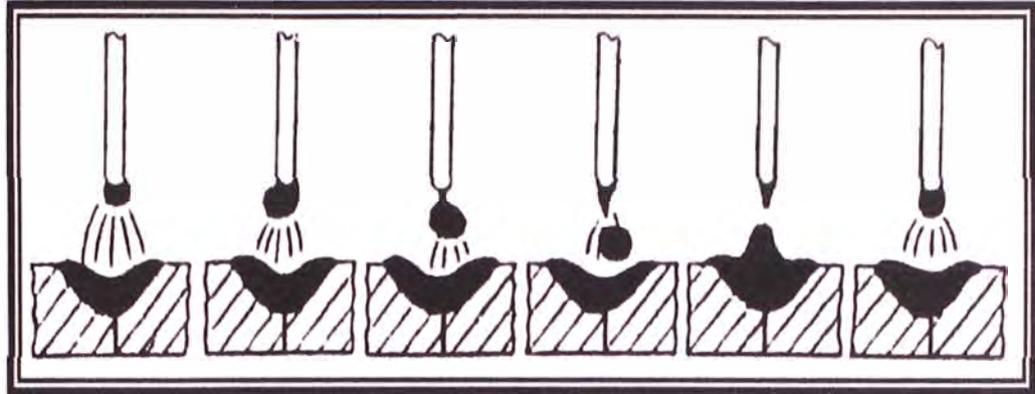


Figura 2.6- Transferencia Globular

### 2.3.2 Transferencia por Spray o Pulverización

En la transferencia por “spray” o pulverización las gotas son iguales o menores que el diámetro del alambre y su transferencia se realiza por el extremo del alambre al baño fundido en forma de una corriente axial de gotas finas (corriente centrada con respecto al alambre). Se obtiene este tipo de transferencia con altos voltajes y altas intensidades. Voltajes de 27 a 40 V e intensidades de 175 a 500 (A). Los gases inertes favorecen este tipo de transferencia. (Ver figura: 2.7).

La transferencia en “spray” se puede aplicar en cualquier tipo de material base, pero no se puede utilizar en espesores muy finos porque la corriente de soldadura es muy alta. Se consiguen grandes tasas de deposición y rentabilidad. Además este tipo de transferencia es aplicable a cualquier posición.

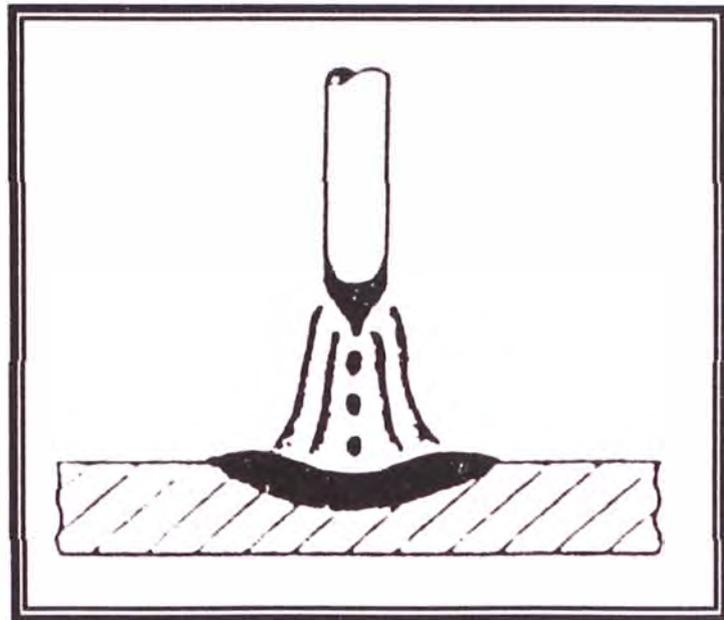


Figura 2.7- Transferencia por Spray

### **2.3.3 Transferencia por Arco Pulsado**

También denominado de onda cuadrada, es un tipo de transferencia globular mas uniforme y estable, que se consigue por la pulsación de la corriente de soldadura entre dos niveles, uno inferior a la corriente efectiva y otro superior a ella, ver figura: 2.8, de modo que durante el período en que la corriente es baja la gota se forma y crece en la punta del alambre y será transferida cuando el valor de la corriente es alto; este sistema de Transferencia puede ser graficado conforme se ve en la figura: 2.9.

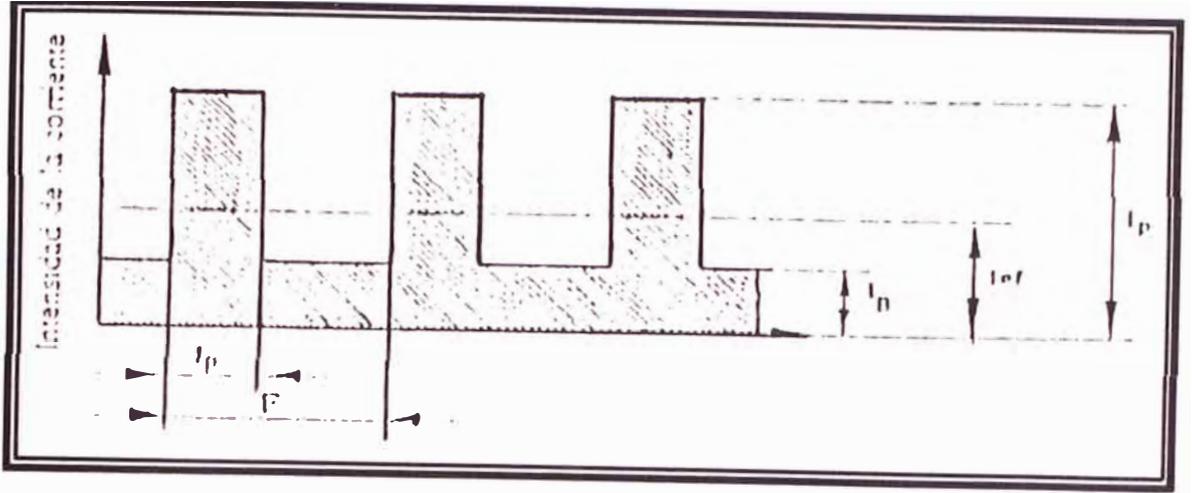


Figura 2.8-Transferencia del Metal por Arco Pulsado

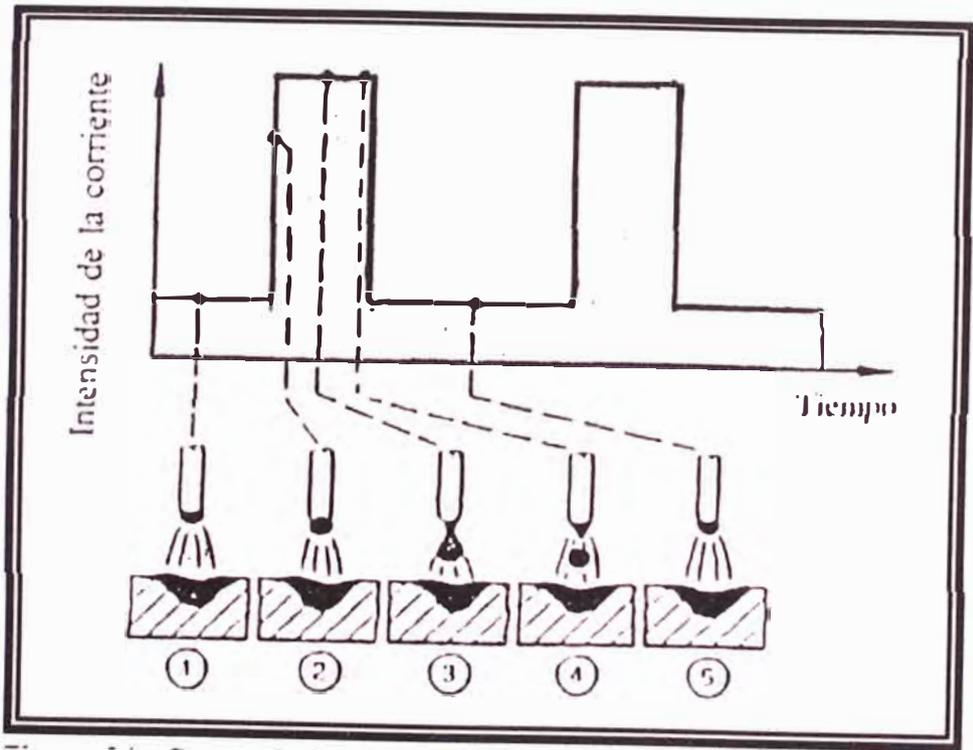


Figura 2.9- Característica de la Transferencia por Arco Pulsado.

## **2.4 Parámetros de Control**

### **2.4.1 Corriente de Soldadura**

Es proporcional a la velocidad de alimentación para un diámetro determinado, composición y extensión del electrodo.

Se requiere una fuente de voltaje constante para fundir el electrodo a una velocidad de tal forma que se mantenga constante el voltaje ajustado. Si los otros parámetros se mantienen constantes un aumento en la corriente tiene efecto en:

1. Aumento de la velocidad de deposición.
2. Incremento en la penetración .
3. Aumenta la convexidad llevando a una mala apariencia .
4. Transferencia en gotas grandes y excesivo chisporroteo
5. Absorción excesiva de nitrógeno y porosidad en el metal de soldadura cuando se usa un electrodo autoprotegido.

Cuando se cambie la corriente se debe también ajustar el voltaje para mantener la relación óptima de voltaje de arco a corriente, además a una velocidad de alimentación constante, cuando se aumenta la extensión del electrodo disminuye la corriente y viceversa.

#### **2.4.2 Voltaje de Arco**

El voltaje y la longitud de arco son variables muy relacionadas. El voltaje del indicador es la suma de las caídas de voltaje en todo el circuito de soldadura. Esto incluye la caída en los cables, la extensión del electrodo, el arco, la pieza de trabajo y el cable de masa. La apariencia, sanidad, y propiedades del metal de soldadura pueden ser afectadas por el voltaje de arco. Un voltaje de arco demasiado alto puede generar mucho chisporroteo y un cordón ancho e irregular. Con los electrodos autoprotegidos, un voltaje de arco alto puede facilitar el arrastre de nitrógeno, en los aceros al carbono esto puede causar porosidad y en los inoxidables reduce la ferrita lo cual puede causar agrietamiento en caliente. Un voltaje de arco demasiado bajo puede causar un cordón convexo estrecho, con excesivo chisporroteo y penetración reducida.

#### **2.4.3 Extensión del Electrodo**

El electrodo sin fundir que se extiende más allá de la punta de contacto forma una resistencia y se calienta proporcionalmente a esta que a la vez es proporcional a la longitud, asumiendo que otras variables son constantes. La temperatura del electrodo

afecta la energía del arco, velocidad de depositación y penetración de la soldadura. También puede afectar la sanidad de la soldadura y estabilidad del arco. Esta variable se debe mantener en balance junto con las condiciones de protección y las variables relacionadas de soldadura. Por ejemplo la fusión y activación de los elementos del núcleo. Una extensión muy larga produce un arco inestable con excesivo chisporroteo. Uno muy corto puede causar una longitud de arco muy larga a un voltaje de arco establecido, en los protegidos con gas puede causar que se acumulen chispas en la tobera que puede interferir con el flujo de gas, a la vez esto puede causar pobre protección, porosidad del metal de soldadura y oxidación excesiva. La mayoría de los fabricantes recomiendan una extensión de 3/4 a 1-1/2 in para los electrodos protegidos con gas y de 3/4 a 3-3/4 para los autoprotegidos, dependiendo de la aplicación.

#### **2.4.4 Velocidad de Avance**

Influye en la penetración y contorno de la soldadura, con una velocidad lenta la penetración es mayor, pero si la corriente es muy alta se puede dar un sobrecalentamiento del metal base, además la apariencia puede ser demasiado rugosa con la posibilidad de que quede escoria atrapada, o que se traspase el metal base. A una alta velocidad el cordón de soldadura puede quedar irregular y con apariencia rugosa.

#### **2.4.5 Flujo de Gas de Protección**

Un flujo insuficiente puede generar porosidad y oxidación, un flujo excesivo puede generar turbulencia y atrapar aire generando los mismos efectos que el flujo insuficiente. El flujo correcto depende del tipo y diámetro de la tobera, distancia de la tobera a la pieza, y el movimiento del aire en el alrededor de la zona de soldadura.

#### **2.4.6 Velocidad de Deposición y Eficiencia**

Tomado como la masa de soldadura depositada por unida de tiempo, depende de las variables diámetro, composición, extensión del electrodo y corriente. La eficiencia de depositación, tomado como la relación entre el metal depositado y el consumido, varía entre 80 y 90% para los protegidos con gas y de 78 a 87% para los autoprottegidos.

#### **2.4.7 Angulo del Electrodo**

El ángulo del electrodo determina la dirección en la cual se aplica la fuerza de arco al charco de metal de soldadura. Cuando las variables se ajustan de manera apropiada la fuerza de arco se puede usar para oponerse a los efectos de la gravedad. Además, en los procesos SMAW y FCAW la fuerza de arco se usa para evitar que la escoria se adelante al metal y que quede atrapada en este.

Cuando se hacen soldadura de ranura y filete en la posición plana la gravedad hace que el charco metálico tienda a adelantarse, para contrarrestar esto el electrodo se mantiene a un ángulo con respecto a la vertical y con la punta del electrodo apuntado hacia atrás de la soldadura, es decir al contrario de la dirección de avance. Este ángulo

de avance se define como el ángulo de arrastre y se aplica para las otras posiciones de soldadura.

El ángulo de arrastre apropiado depende de si es autoprotegido o protegido con gas, espesor del metal base, y la posición de soldadura. Con electrodos autoprotegidos los ángulos pueden ser similares a los usados con electrodos de proceso SMAW, así en la posición plana el ángulo varía en el rango de 20 a 45°, se usan ángulos mayores para espesores delgados. A medida que aumenta el espesor del material base se debe disminuir el ángulo para aumentar la penetración. En la soldadura vertical de progresión ascendente el ángulo debe ser entre 5 y 10°.

Con los electrodos con protección de gas, el ángulo de arrastre debe ser pequeño, usualmente de 2 a 15 grados y no debe superar los 25° debido a que se pierde la efectividad de la protección del gas.

Cuando se hacen filetes en la posición horizontal el charco metálico tiende a adelantarse y también a fluir en contra del miembro vertical de la junta. Para contrarrestar esto se debe apuntar el electrodo al miembro base cerca a la esquina de la junta, además del ángulo de arrastre se debe mantener un ángulo de trabajo de 40 a 50° del miembro vertical.

#### **2.4.8 Diseño de Junta**

Cuanto mayor sea el espesor del metal base, mayor será la disipación de calor por conductividad, requiriéndose mayores aportes térmicos. El diseño apropiado de la junta (bisel, talón, separación) proporcionará adecuada penetración y forma al cordón.

## 2.5 Defectos Típicos en las soldaduras

<b>DEFECTO: POROSIDAD</b>	
<b>Causa</b>	<b>Remedio</b>
- Material base contaminado.	- Extremar la limpieza del material base.
- Alambres tubulares contaminados o sucios.	- Desengrasar. - Evitar la suciedad en el taller. - Secar los alambres.
- Insuficiente cantidad de fundente en el alambre.	- Cambiar el alambre.
- Tensión muy elevada.	- Disminuir la tensión.
- Extensión visible ("stickout") muy grande.	- Acortar la extensión y determinar la tensión adecuada
- Extensión visible ("stickout") muy pequeña (para soldeo autoprotegido)	- Alargar la extensión y determinar la tensión adecuada.
- Velocidad de soldeo elevada.	- Ajustar la velocidad. - Aumentar el caudal de gas de

<ul style="list-style-type: none"><li>- Caudal de gas bajo que produce una protección defectuosa.</li> <li>- Proyecciones en la tobera que reducen susección.</li> <li>- Caudal de gas alto.</li>  <li>- Excesivas corrientes de viento.</li>  <li>- Gas de protección contaminado</li></ul>	<p>protección.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Retirar las proyecciones de la boquilla.</li> <li>- Disminuir el caudal para eliminar la <i>turbulencia</i>.</li> <li>- Proteger la zona de soldeo del viento.</li>  <li>- Controlar la alimentación del gas.</li> <li>- Purgar.</li></ul>
--	---

<b>DEFECTO: FALTA DE FUSION O PENETRACION</b>	
<b>Causa-</b>	<b>Remedio</b>
-Parámetros de soldeo no adecuados	Aumentar la velocidad de alimentación del alambre.  Reducir la velocidad de desplazamiento. Disminuir el "stickout".  Reducir la dimensión del alambre  Aumentar la velocidad de soldeo (para el soldeo autoprotegido).
- Manipulación del alambre inadecuada.	<i>Mantener la inclinación correcta.</i>  Centrar la pistola y elegir el ángulo de inclinación adecuado.
- Diseño inapropiado de la unión	Reducir la desalineación  Aumentar la separación en la raíz.  Reducir el talón.

<b>DEFECTO: GRIETAS, MORDEDURAS</b>	
<b>Causa</b>	<b>Remedio</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Alambre inadecuado.</li><li>- Defecto en el llenado de electrodo</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Revisar la composición del fundente o del alambre.</li><li>- Cambiar el electrodo.</li></ul>
<b>DEFECTO : MORDEDURAS</b>	
<b>Causa</b>	<b>Remedio</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Tensión excesiva</li><li>- Movimiento lateral muy rápido.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Disminuir la tensión para que el calentamiento de la pieza sea menor.</li><li>- Dar un movimiento lateral más lento y retener un poco a los lados del cordón.</li></ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Velocidad de avance excesiva</li> <li>- Pistola con inclinación excesiva.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Disminuir la velocidad de avance.</li> <li>- Mantener la inclinación adecuada de la pistola.</li> </ul>
<b>DEFECTO: INCLUSIONES DE ESCORIA</b>	
<p><b>Causa</b></p>	<p><b>Remedio</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intensidad de corriente muy débil.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumentar la intensidad para que la escoria se funda y flote en el baño.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cordones mal distribuidos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distribuir los cordones de forma que no queden estrías muy profundas donde se quede encajada la escoria.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Movimiento de avance irregular y demasiado ancho.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dar un movimiento de avance regular y disminuir la anchura del cordón.</li> </ul>

<b>DEFECTO: SALPICADURAS</b>	
<b>Causa</b>	<b>Remedio</b>
- Humedad en el gas.	- Emplear gas de protección bien seco.
- Arco demasiado largo.	- El arco debe tener una longitud de unos 3 mm.
- Intensidad o tensión demasiado elevada.	- Disminuir la velocidad de alimentación del alambre o la tensión.
- Pistola al polo negativo.	- Colocar la pistola al polo positivo.
- Longitud libre de varilla excesiva	- Disminuyendo la longitud libre de varilla disminuyen las proyecciones.

## **2.6. Ventajas y Desventajas del Proceso FCAW**

### **2.6.1 Ventajas**

En muchas aplicaciones, el proceso FCAW produce metal de soldadura de alta calidad con un costo más bajo y menor esfuerzo por parte del soldador que con SMAW. FCAW es más tolerante que GMAW, y más flexible y adaptable que SAW. Las ventajas citadas pueden resumirse como sigue:

- (1) Deposito de metal de soldadura de alta calidad.
- (2) Excelente aspecto de la soldadura: lisa y uniforme.
- (3) Excelente perfil de las soldaduras de filete horizontales
- (4) Es posible soldar muchos aceros dentro de un intervalo de espesores amplio.
- (5) Factor operativo elevado - fácil de mecanizar.
- (6) Tasa de deposición alta-densidad de corriente elevada.
- (7) Eficiencia de deposito del electrodo relativamente alta.
- (8) Diseños de unión económicos en cuanto a su ingeniería.
- (9) Arco visible - fácil de usar.
- (10) No requiere tanta limpieza previa como GMAW.
- (11) Produce menor distorsión que SMAW.
- (12) Tasa de deposición hasta 4 veces mayor que con SMAW.
- (13) El empleo de electrodos con autoprotección hace innecesario el equipo para manipular fundente o gas, y tolera mejor las condiciones de movimiento brusco del aire que prevalecen en la construcción en exteriores (véase la desventaja "6" de los escudos de gas en la sección que sigue).
- (14) Mayor tolerancia de contaminantes que podrían causar agrietamiento de la

soldadura.

(15) Resistencia al agrietamiento de la franja de soldadura inferior

### **2.6.2 Desventajas**

(1) El proceso FCAW actual está limitado a la soldadura de metales ferrosos y aleaciones con base de níquel.

(2) El proceso produce una cubierta de escoria que es preciso eliminar.

(3) El alambre de electrodo para FCAW cuesta más por unidad de peso que el alambre de electrodo sólido, excepto en el caso de algunos aceros de alta aleación.

(4) El equipo es más costoso y complejo que el que se requiere para SMAW; no obstante, el aumento en la productividad casi siempre compensa esto.

(5) El alimentador de alambre y la fuente de potencia deben estar relativamente cerca del punto de soldadura.

(6) En la versión con escudo de gas, el escudo externo puede sufrir efectos adversos por el viento y las corrientes de aire. Esto no es un problema con los electrodos autoprotegidos, excepto cuando hay vientos muy fuertes, porque el escudo se genera en el extremo del electrodo, que es exactamente donde se requiere.

(7) El equipo es más complejo que el de SMAW, por lo que requiere mayor mantenimiento.

(8) Se genera mayor cantidad de humos y vapores (en comparación con GMAW o SAW).

## CAPITULO III

### PRODUCTIVIDAD Y COSTOS EN SOLDADURA

En este capítulo se hace el estudio para determinar la productividad en la soldadura en aplicaciones de soldeo mecanizado.

Antes que nada, se debe considerar que para lograr aumentos en la productividad en industrias que tienen como principal proceso de manufactura la soldadura es necesario revisar y tener en cuenta los siguientes aspectos :

- Reducción del tiempo de arco por junta soldada
- Reducción de desperdicios (consumibles de soldadura, material de aporte etc.), reproceso y rechazos.
- Reducción de tiempos muertos.

Por lo anterior, el uso de procesos de soldadura que tengan mayores valores de tasa de deposición, eficiencia de deposición y factor de operación, tendrán un mayor potencial para lograr un incremento en la productividad. Las anteriores características

son reunidas por procesos semiautomáticos como el GMAW y el FCAW y más aún si éstos se realizan de manera mecanizada o automática.

### 3.1 Productividad

La productividad es la relación entre la producción y los insumos necesarios para conseguir la misma, ecuación 4.1.

$$\text{PRODUCTIVIDAD} = \frac{\text{PRODUCCION}}{\text{INSUMOS}} \dots\dots\dots(3.1)$$

Es necesario tener claro que la productividad no es una medida de la cantidad que se ha fabricado, sino una medida de lo bien que se han combinado y utilizado los recursos para cumplir los resultados específicos deseables. A menudo se hace uso de medidas parciales de productividad que son empleadas para el control de la producción y como referencia para la comparación entre procesos; estas medidas parciales se conocen como indicadores de productividad. Sin embargo, un indicador por sí solo no es suficiente para establecer que un proceso o método de producción es más eficaz ya que no toma en cuenta todos los insumos empleados para la producción. Los insumos deben ser llevados a una misma unidad de medida para que la ecuación 1 sea consistente, razón por la cual es común que el denominador de dicha ecuación sea la suma del costo en pesos de cada uno de los insumos necesarios (mano de obra, materiales, energía, etc.) para obtener la producción. En este estudio dichos insumos están representados por los costos de soldadura.

### **3.2 Costos en Soldadura**

Los costos en soldadura pueden dividirse de la siguiente manera:

- A) MANO DE OBRA
  - B) MATERIALES CONSUMIBLES
    - B.1) ELECTRODOS
    - B.2) GAS DE PROTECCION
    - B.3) FUNDENTES
  - C) COSTOS INDIRECTOS
    - C.1) ELECTRICIDAD
    - C.2) DEPRECIACION
    - C.3) MANTENIMIENTO DE EQUIPOS E INSTALACIONES
- INSTALACIONES, etc.

### **3.3 Indicadores de Productividad y Estimación de Costos**

En la industria de la soldadura es importante la productividad y se ha popularizado el uso de varios indicadores. En el presente estudio se realizaron medidas de la tasa de deposición, el factor de operación y la eficiencia de deposición, además de la eficiencia del WPS y la tasa de deposición en producción que se definen conceptualmente en la discusión de resultados .Estos indicadores utilizados se definen a continuación.

### 3.3.1 Tasa de Deposición

Es la cantidad de metal de aporte que puede ser depositado por un electrodo o un alambre por unidad de tiempo, generalmente es expresado en kilogramos por hora. Esta medición se calcula con base en el tiempo de arco, es decir, sin incluir paros para cambio de electrodo, limpieza de escoria, finalización de la soldadura u otras actividades.

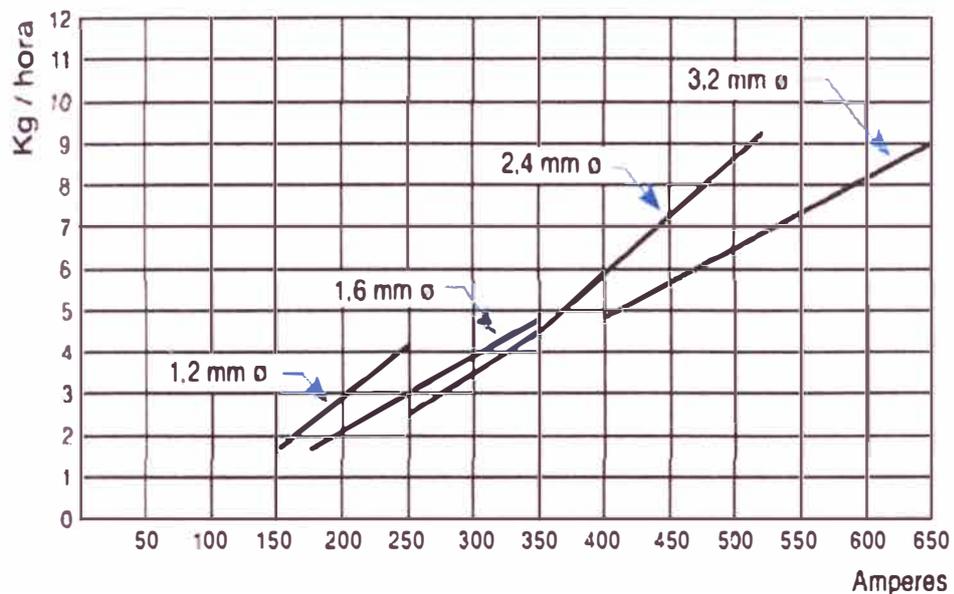


Figura 3.1–Tasa de Deposición, Proceso FCAW protegido<sup>1</sup>

### 3.3.2 Factor de Operación

Cuando se realiza una construcción soldada hay dos tiempos que se deben tomar en cuenta, estos son el tiempo en el que el operador está efectivamente depositando material y los tiempos accesorios. Al primero se le conoce como duración de arco, y

<sup>1</sup> INDURA MANUAL DE SOLDADURA

viene a ser el tiempo en que el soldador está depositando metal en la junta. Entre los tiempos accesorios se tiene: tiempo de ensamble, de posicionamiento y de preparación de la junta. Cuando retira un montaje de su posición o limpia una soldadura, él está necesariamente ejecutando "reiteradas" operaciones. Cuando cambia electrodos, cuando se mueve de un lugar a otro o cuando se detiene a tomar alguna bebida, él no está soldando. Las horas totales trabajadas son siempre mayores que las que las horas empleadas únicamente en soldar, y la relación entre las horas pasadas soldando y las horas totales trabajadas es conocida como factor operador. El factor operador o ciclo de trabajo en la soldadura al arco es la razón entre la duración de arco y un período especificado de tiempo, que puede ser un minuto, una hora, una jornada, o algún otro espacio de tiempo. Elevar la duración de arco incrementa la cantidad de metal de aporte depositado, por tanto, incrementa la eficiencia de la operación de soldadura. Sin embargo otras operaciones que un soldador o un operador de máquina tiene que desempeñar tales como limpiar piezas, cargar accesorios o soldar por puntos, pueden bajar el factor operador

Se debe realizar todo esfuerzo para incrementar el factor operador. La calificación de los soldadores determinan la apariencia y la calidad de la soldadura; por tanto, todo obstáculo que trabe al soldador deberá ser removido. El trabajo deberá ser proyectado y dirigido a minimizar el esfuerzo físico y a asegurar la máxima comodidad y seguridad..

Para el proceso SMAW el factor de operación puede variar entre el 15 y 40% dependiendo de las condiciones y los recursos de fabricación. En soldaduras

producidas usando el proceso GMAW semiautomático, el factor de operación normalmente se encuentra entre el 45 y 55%; sin embargo, cuando se emplea GMAW automatizado, los factores de operación típicos van desde el 50% hasta cerca del 100% dependiendo del grado de automatización.

PROCESO	FACTOR DE OPERADOR [%]
Electrodo Manual	5 – 30
MIG sólido	10 – 60
FCAW	10 – 60
TIG	5 – 20
Arco sumergido	50 – 100

Tabla4.2-Factores de operación Típicos<sup>2</sup>

### 3.3.3 Eficiencia de Deposición

Es la relación del peso del material depositado al peso del electrodo o el alambre consumido para hacer una soldadura. Para electrodos revestidos la eficiencia de deposición tal como es definida por la asociación americana de soldadura (AWS) y la que se reporta en la literatura no considera la pérdida de la colilla, lo cual es entendible si se tiene en cuenta que el tamaño de la colilla puede ser variable. Sin embargo, desde el punto de vista de los costos de soldadura es necesario considerar para la eficiencia de deposición las pérdidas en las colillas ya que éstas constituyen un desperdicio real de material que tiene un costo que puede llegar a ser significativo.

<sup>2</sup> INDURA MANUAL DE SOLDADURA

PROCESO	RENDIMIENTO DE APORTACION [%]
Electrodo manual	60 – 70
MIG solido	90
FCAW con protección	83
FCAW sin protección	79
TIG	95
Arco sumergido	98

Tabla 4.3 – Eficiencias de Aportación típicas<sup>3</sup>

### 3.4 Cálculo de los Costos de Soldadura

Se tienen las siguientes relaciones:

$$TA \text{ (h/m)} = WD \text{ (kg/m)} / DR \text{ (kg/h)} \quad \dots\dots (3.2)$$

$$OF = TA / TAT \quad \dots\dots (3.3)$$

Donde:

WD: Peso del depósito por unidad de longitud

DR: Tasa de deposición

TA: Tiempo de arco.

TAT: Tiempo total de arco.

OF: Factor de operación.

#### 3.4.1 Costos de por Mano de Obra

<sup>3</sup> INDURA MANUAL DE SOLDADURA

Los costos de mano de obra se basan en los tiempos que toma llevar a cabo todos los pasos en la fabricación. Estos pasos pueden ser agrupados dentro del tiempo de arco, corte, doblado, etc.; tiempo de manipulación y diversos tiempos en el lugar de trabajo.

La base para calcular el costo de mano de obra en dólares por metro se expresa en la ecuación (5.4). El factor operador que se muestra es el mismo que el ciclo de la jornada, que es el porcentaje del equipo de arco contra el tiempo total pagado.

$$\text{CMO } (\$/\text{m}) = \frac{SS}{VA*FO} \dots\dots\dots (3.4)$$

Donde:

CMO: Costo mano de obra

SS: Sueldo de soldador u operador de soldadura ( \$/h)

VA: Velocidad de avance (m/h)

FO: Factor de operador.(%)

### **3.4.2 Costos por Gas de Protección**

$$\text{CG} = G*FG*TAT \dots\dots\dots (3.5)$$

Donde

CG: Costo del gas de protección ( $\$/m^3$ )

FG: Flujo del gas de protección ( $m^3/h$ )

### 3.4.3 Costos por Electrodo

Se tiene,

$$CE = (WD * E) / n_e \dots \dots \dots (3.6)$$

Donde

WD: Peso del metal de aporte necesario por unidad de longitud (kg/m)

E: Precio del electrodo ( \$/kg)

$n_e$ : Eficiencia del electrodo (%)

Para calcular la cantidad el peso del electrodo a utilizar de soldadura para la junta por unidad de tiempo cuando se usen procesos de alambre continuo, utilizaremos la ecuación 5.8

$$PEN \text{ (kg/h)} = \frac{VAA \text{ (m/min)} * 60}{LE \left( \frac{m}{kg} \right)} \quad (3.7)$$

Dónde:

PEN: Peso del electrodo necesario

VAA: Velocidad de alimentación del electrodo.

LE: Longitud de electrodo por kilogramo.

Para lo cual la longitud de alambre-electrodo se basa en la tabla 4.4:

Para calcular el peso del metal de soldadura por metro de soldadura, utilizaremos la siguiente relación

$$WD \text{ (kg/m)} = \frac{PEN \left( \frac{KG}{h} \right)}{VA \left( \frac{m}{h} \right)} \quad (3.8)$$

Donde:

VA: Velocidad de avance.

### 3.4.4 Costos por Energía Eléctrica

$$CEE = A * V * EE * TAT * n_f \dots \dots \dots (3.9)$$

Donde:

CEE: Costo por energía eléctrica (\$/m)

A: Amperaje (A)

V: Voltaje (V)

EE: Precio de la Electricidad (\$/kw-h)

$n_f$ : Eficiencia de la fuente de poder.

<b>Diámetro del electrodo (en pulgadas)</b>	<b>Longitud por peso (metros / kilogramo)</b>
0.045	134
1/16	70
5/64	55.8
3/32	36.3
7/64	26.2
0.120	21.2
1/8	19.3
5/32	12.6

Tabla 3.4- Longitud por peso de electrodo con núcleo de fundente en varios tipos y tamaños<sup>4</sup>.

### **3.4.5 Costos Generales**

Los costos generales son los costos de muchos elementos u operaciones en la fábrica y en la oficina, no directamente asignables al trabajo o a las construcciones soldadas. Estos costos son repartidos a proporciones entre todos los trabajos que se estén haciendo en la planta o en un departamento. Las principales categorías pueden incluir algo o todo de lo siguiente.

- Salarios de los ejecutivos de la planta, supervisores, inspectores, personal de mantenimiento, conserjes y otros.
- Margen de beneficios para los empleados, tales como seguros de vida y servicio médico, seguridad social y fondo de contribuciones para pensiones de jubilación.
- Renta y depreciación de la planta, facilidades.
- Costo de depreciación o de arrendamiento de los equipos de la planta incluyendo máquinas de soldar, equipo de manipulación, grúas aéreas y todo otro equipo que no esté cargado directamente al trabajo o a una construcción soldada específica.
- Costos de mantenimiento de los edificios, terrenos, etc.

---

<sup>4</sup> EDISON WELDING INSTITUTE, COSTOS DE SOLDADURA

- Todos los impuestos de la planta, estado real, equipo y planillas de pagos.
- Calefacción, luz, agua y otros servicios públicos utilizados en las operaciones de la planta.
- Pequeñas herramientas, como son llaves de tuercas, martillos de cincelar y para electrodos, piquetas, instrumentos de control de calidad en soldadura, etc.
- Equipos de seguridad y contra incendios.
- Departamentos de prueba incluyendo laboratorios de química, de metalurgia y de procesamientos de datos.

Todas las empresas tienen algún sistema para manejar y determinar los costos generales. La asignación de los costos por costos generales es usualmente una función del departamento de contabilidad.

## **CAPITULO IV**

### **MECANIZACIÓN Y AUTOMATIZACION EN SOLDADURA**

Desde el comienzo, la soldadura es un proceso que depende de las habilidades de soldador. Esta relación es de modo particular que la clasificación, de acuerdo con los métodos de aplicación, se basa en el grado de control de las actividades relacionadas con la soldadura que depende de la interferencia humana. Estos métodos de aplicación se clasifican como manual, semi-automático, mecanizado, automático, robótica y con control adaptativo, de acuerdo con la American Welding Society (AWS).

Esta clasificación se puede entender mejor cuando se establece un agente (Tabla 5.1) para ejecutar las actividades normales implicadas para realizar la soldadura por arco .

## **4.1 Clasificación de los Métodos de Soldeo**

### **4.1.1 Soldadura Manual**

La soldadura manual se define, según la Sociedad Americana de Soldadura (AWS, 2001) como :

"Soldadura en que la antorcha o el soporte del electrodo se realizan o manipulados por manos humanas". En otras palabras, cuando las tareas, relacionados con la ejecución y el control continuo de la soldadura, son hechas por las manos de los humanos y están bajo la responsabilidad de él.

### **4.1.2 Soldadura Semiautomática**

Soldadura semiautomática se define como " la soldadura manual con el equipo que automáticamente controlar una o más condiciones de soldadura " . El soldador manipula la antorcha mientras que el alambre / electrodo se alimenta automáticamente por la máquina .

### **4.1.3 Soldadura Mecanizada**

Soldadura mecanizada se define como " la soldadura con el equipo que requiere ajustes manuales en respuesta a la observación visual durante la soldadura , con la antorcha o electrodo sostenido por un sistema mecánico " . La participación soldador en este proceso consiste en el ajuste de los parámetros mientras observa la operación

#### **4.1.4 Soldadura Automática**

La soldadura automática se define como "soldadura con un equipo que sólo requiere ocasionalmente la observación o no de la soldadura y no hay ajustes manuales ". Sólo se enciende el equipo para comenzar el ciclo de soldadura y de vez en cuando se comprueba el procedimiento

#### **4.1.5 Soldadura Robótica**

La soldadura con robot se define como "soldadura que es ejecutada y controlada por un equipo robótico ". En la soldadura robotizada y automática la función de la soldadora es garantizar la calidad de las soldaduras mediante la realización de inspecciones periódicas para la identificación de discontinuidades o defectos.

Cuando éstas son encontradas , el mantenimiento y la programación se deben hacer para solucionar estos problemas.

#### **4.1.6 Soldadura por Control Adaptativo**

Soldadura con control adaptativo se define como " la soldadura con el equipo que tiene un sistema de control que automáticamente realizacambios en las condiciones de soldadura y actua bajo el equipo con apropiadas acciones para realizar el ajuste." . En este proceso , los sensores se utilizan para detectar problemas y el controlador realiza

los cambios necesarios en los parámetros de soldadura en tiempo real. Este tipo de soldadura es realizada sin intervención ni supervisión de humanos.

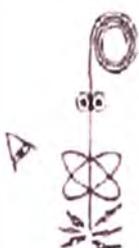
	Manual	Semi-automatic	Mechanized	Automatic	Robotic	Adaptive control
Activities						
Arc start and maintenance	Human	Machine	Machine	Machine	Machine	Machine (with sensor)
Wire feeding	Human	Machine	Machine	Machine	Machine	Machine (with sensor)
Heat control to obtain penetration	Human	Human	Machine	Machine	Machine	Machine (with sensor)
Arc motion along the joint	Human	Human	Machine	Machine	Machine (robot)	Machine (with sensor)
Guide the arc along the joint	Human	Human	Human	Machine (with pre programmed track)	Machine (robot)	Machine (with sensor)
Torch manipulation to direct the arc	Human	Human	Human	Machine	Machine (robot)	Machine (with sensor)
Arc corrections to compensate erros	Human	Human	Human	Do not occurs	Do not occurs	Machine (with sensor)

Tabla 4.1 : Aplicación y métodos de procesos de soldadura<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> WELDING HANDBOOK 2001

#### **4.2 Soldeo Mecanizado vs Soldeo Automatizado**

De acuerdo a la clasificación presentada , la soldadura de electrodo revestido es un proceso manual, ya que el soldador es responsable de todas las actividades , mientras que los procesos GMAW o FCAW son procesos semiautomáticos.

Esto es así porque el inicio del arco,su mantenimiento y la alimentación de el alambre es hecho por una máquina mientras que la manipulación de la antorcha se hace por el soldador . Cuando esta manipulación es realizada por un dispositivo mecánico los procesos se clasifican como mecanizada.

Independiente del grado de automatización , su enfoque es la reducción de costes por la reducción del número de las personas involucradas en la producción y el aumento de la productividad y la calidad final del producto mediante el control racional de los parámetros del proceso . Un equipo automático puede ser proyectado y programado para llevar a cabo una tarea única ( automatización de solución ) o puede ser proyectada para multitareas,lo que permite llevar a cabo tareas distintas de acuerdo con la producto fabricado ( automatización flexible ) .

En el área de fabricación , el término " automatización " significa que todas las funciones o pasos de una operación se ejecuta o controla , en secuencia, por medios mecánicos y / o dispositivos electrónicos reemplazando el esfuerzo humano , la observación y decisión. La automatización puede ser

parcial , con algunas de las funciones o etapas ejecutadas manualmente o pueden ser total , donde todas las funciones o pasos son ejecutados por el equipo , en una cierta secuencia sin ningún ajuste de el operador.

Para clasificar correctamente el nivel de automatización de un proceso dado , el primer paso es definir el o las actividades relacionadas con ella . El responsable de la ejecución (agente de la ejecución) , de el control ( agente de control ) y el de la secuencia de actividades (agente secuencial ) deben ser definidas .

Además, es necesario definir que actividades necesitan ser tratados como aisladas y cuales deben ser incluidas en el ciclo operativo del proceso.

En los procesos de soldadura de arco , la primera actividad a realizar es especificar que procedimiento debe ser utilizado WPS (Welding Procedure Specification.)

Además, teniendo en cuenta el material utilizado y la morfología de soldadura requerida, los parámetros de soldadura para este proceso pueden ser determinados .

El ejecutor , el controlador y el agente encargado de seguir la secuencia especificada de un WPS es el ser humano, incluso con la ayuda de un programa computacional para elegir los mejores parámetros o los que van a ser utilizados para el autoajuste de de la máquina , la decisión final del WPS es la decisión humana. Entre la elaboración del WPS y el comienzo de la soldadura , un intervalo de tiempo para la preparación del procedimiento es necesario . Hoy en día , esta preparación se produce independientemente de la técnica de soldadura a ser usada y la interferencia humana directa a menudo es necesaria.

Todavía hay una falta de un buen sistema para preparar automáticamente un procedimiento e iniciar inmediatamente la soldadura. Por supuesto, este sistema debe ser universal,

Sin embargo, este tipo de actividades (WPS y el inicio de soldadura ) se tratarán como actividades aisladas, debido a la intervención humana en ellos. Las actividades relacionadas con el ciclo de soldadura ,son las que definirán el grado de automatización del proceso, y deben ser las que permiten la secuencia instantánea del proceso . La forma más fácil de relacionar tales actividades es a asociarlos a un proceso de soldadura . es incuestionable decir que la soldadura con electrodo revestido ( SMAW ) es manual. Para iniciar el arco , el soldador debe aproximar la punta del electrodo al metal base, tocarlo y lenta y suavemente, tirarlo hacia arriba hasta que se establezca el arco . Después , tiene que trasladar y alimentar el electrodo de tal manera que la distancia entre la punta del electrodo y el baño de soldadura (longitud del arco) se mantenga constante hasta el final. Para terminar, debe tirar suavemente el electrodo, apartándolo del metal para extinguir el arco. Como se observa, en esta operación, el agente de ejecución y control es el ser humano. Todas las tareas descritas pueden, sin embargo, realizarse de manera automática, no necesariamente para mejora de la productividad, pero quizás por razones de seguridad (soldadura bajo el agua).

Según la clasificación mostrada en la Tabla 1, un proceso semiautomático típico es el GMAW al igual que el FCAW, por ser éstos de características de operación similares. Para comenzar la soldadura, después de un poco de preparación, el soldador debe colocar la boquilla de la antorcha cerca al metal base después pulsar el disparador e iniciar la alimentación de alambre. Como el alambre toca el metal base, se establece el arco y el soldador debe trasladar la antorcha. A medida que el soldador traslade, la

máquina alimenta el alambre al baño de soldadura. Para detener la soldadura, el soldador sólo necesita liberar el gatillo. La máquina para de alimentar el alambre y el arco es extinguido. La abertura del arco y su extinción están asociados a la alimentación del alambre por la máquina (agente de ejecución). Sin embargo, quien decide el momento de inicio de alimentación y acabado es el ser humano (regulador y agente de secuencia), ya que tiene que empujar o liberar el gatillo.

GMAW es el proceso de soldadura de arco más adecuado para ser transportado por el robot. Si el robot sustituye al soldador humano en el traslado de la antorcha con una trayectoria predefinida (ahora será clasificado como la soldadura automática de acuerdo a la Tabla 1), la mejora en la capacidad de repetición es enorme, ya que como el robot siempre hará la misma trayectoria. Sin embargo, para mejorar la calidad, la trayectoria necesita ser programada por lo menos tan bien como el humano lo hace. Si la trayectoria no está bien programada, la soldadura robótica nunca será mejor que la soldadura humana. Entonces el estudio y la programación de la trayectoria es un caso crucial para mejorar la calidad de soldadura robotizada.

La ejecución del movimiento de la antorcha con un dispositivo mecánico con control mecánico o electrónico (como el robot) es una condición necesaria, pero no suficiente, para que una soldadura sea automática.

En este caso la forma más fácil de diferenciar un sistema mecanizado de un sistema automático se base en el concepto de equipo automático. Ya sea con un equipo diseñado y programado para ejecutar una tarea única (automatización fix) o un equipo flexible que, con reprogramación, permite la realización de tareas distintas de acuerdo al producto que sera fabricado (automatización flexible).

Un robot industrial es un ejemplo de un sistema automático flexible. De acuerdo con la RIA (Robotic Industries Association) , " un robot es un manipulador reprogramable y multifuncional ,proyectado para mover materiales , piezas, herramientas y dispositivos especializados ". El desarrollo de este tipo de máquina

ha introducido un elevado grado de flexibilidad al entorno de producción .

La condición principal de un equipo de soldadura para ser robótico es que debe ser programable. Los robots industriales más utilizados para soldadura son el antropomorfo con seis grados de libertad. Son reprogramables y multifuncionales. Esto significa que estos robots pueden ser usados para soldar diferentes partes necesitando solamente la reprogramación para la nueva pieza a soldar .

También hay robots diseñados para tareas específicas . Estos robots no son multifuncionales . el caso típico en soldeo, es el robot, diseñado para ejecutar un tipo único de soldadura. desarrollado para tuberías (figura 5.1). Este robot tiene sus movimientos limitados para girar alrededor de la tubería , mientras permanece parado . Ya que solo tuberías se pueden soldar con este tipo de robot , entonces tal es llamado " un robot dedicado" .



Figura 4.1 –Equipo para soldeo de tuberías

Por último, para diferenciar un sistema automático de uno mecanizado es una tarea difícil, debido a que la automatización puede ser parcial o total y todavía no existe un 100 % de sistema automático.

En cuanto a los sistemas de soldadura lo que se puede decir es que existen sistemas flexibles y dedicados.

Como regla general, un proceso automático es más productivo que un proceso de mecanizado, y este más que el manual. En la soldadura, la ganancia en productividad muchas veces se relaciona con la reducción en el tiempo de retrabajos, y la preparación para comenzar el ciclo de soldadura.

Por otro lado, también como regla general, el costo para la implementación aumenta desde la soldadura manual hasta la soldadura automática. Se puede decir que una de las desventajas de la soldadura automática es su costo inicial. Los estudios detallados de viabilidad económica muestran que los beneficios

vs los costos de implementar este tipo de sistemas son cada vez más satisfactorias.

En general , si un proceso de soldadura puede ser mecanizado, puede ser automatizado, pero la pregunta es:

Cuando un proceso debe ser mecanizado y cuando debería automatizarse ? . Además, si esta automatización necesita o no un robot ?

Muchos factores deben ser considerados para definir el mejor método de ejecución de un proceso de soldadura , como el tipo de proceso , geometría de la pieza , la complejidad de la soldadura , la cantidad de soldaduras y la calidad de soldadura deseada . Todos estos factores deben ser considerados y también las ventajas y desventajas de cada uno de los métodos . La forma más confiable para definir el método adecuado para producir una parte determinada está en estudiar la viabilidad económica. Esto debe hacerse porque , independiente del grado de automatización, lo que se ve es la reducción de costes de fabricación.

Con el uso de sistemas automáticos se puede alcanzar la reducción del número de personas que participan en el proceso de soldadura , el aumento de la productividad y el aumento de la calidad , mediante el uso de parámetros adecuados . También, con los sistemas automáticos , la historia de la soldadura y toda la preparación se pueden almacenar, esto, junto con la repetibilidad , permitir realizar la trazabilidad de las piezas soldadas.

### **4.3 Ventajas de la Mecanización y Automatización**

- Calidad de la soldadura consistente.
- En los países industrializados ya no hay tantos soldadores disponibles o personas dispuestas a hacer carrera de soldador por lo que se remplazan por procesos más productivos.
- Se mejora la ergonomía y condiciones de higiene del operador: Las condiciones físicas de la soldadura afectan al equipo y no al humano, el cual se encarga de ajustar y controlar el proceso además de tener unas mejores condiciones ergonómicas al hacer estas tareas.
- Hay opciones de control remoto y video control.
- Aumento del ciclo de trabajo y por lo tanto de la productividad .
- Repetitividad de los procedimientos que resulta en una calidad de soldadura consistente .
- Control de la entrada de calor.
- Mejor apariencia de la soldadura: en el caso de aplicaciones inoxidable la apariencia es muy buena por lo que se prefiere este proceso en las aplicaciones arquitectónicas.

### **4.4 Equipos Para la Mecanización**

#### **4.4.1 Tractores de Soldadura (Welding Tractors)**

Es una forma económica de mecanizar el movimiento de una cabeza de soldadura, el tractor, se monta directamente sobre el material a soldar o en caminos especiales para guiar el desplazamiento en la posición 1G o 2F. Se usan en astilleros y talleres

fabricadores de placas para hacer soldaduras largas y rectas. Los diseños especiales incluyen los modelos con dos cabezas de soldadura que pueden hacer soldaduras de ambos lados de una pieza.

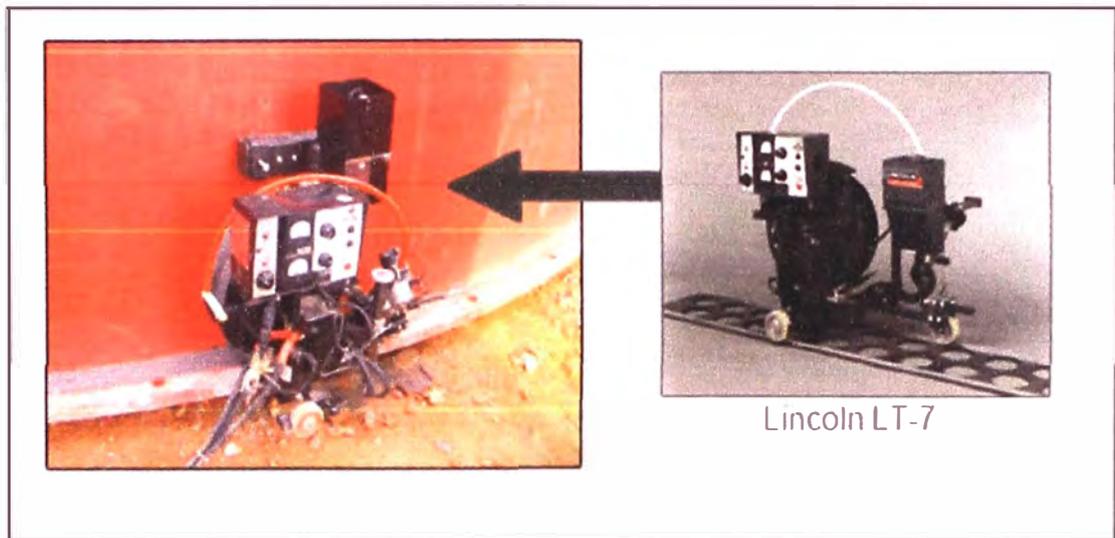


Figura 4.2- Welding tractor, Marca Lincoln

#### 4.4.2 Transportadores Para toda Posición

En esta sección se muestra algunos ejemplos de transportadores y su aplicación.

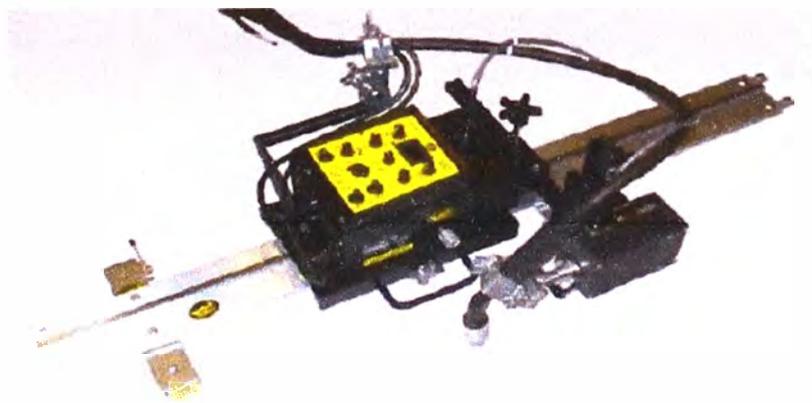


Figura 4.3- Transportador marca BUGO

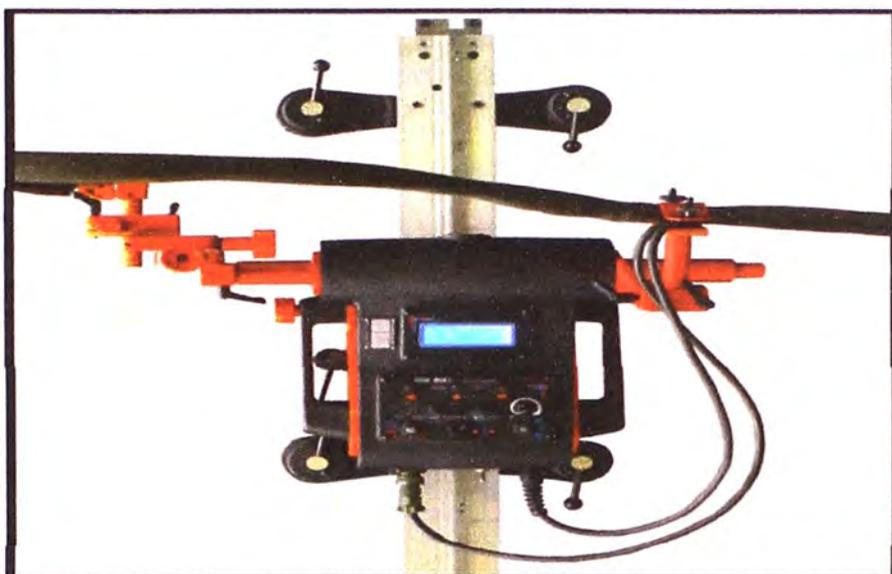


Figura 4.4- Transportador Marca RAIL BUL



Figura 4.5- Aplicación de transportadores en toda posición

## **CAPITULO V**

### **NORMAS Y CODIGOS PARA LAS CONSTRUCCIONES SOLDADAS**

Los códigos, normas y especificaciones son documentos que rigen y regulan las actividades comerciales, industriales y científicas. Existe una variedad muy amplia de áreas, productos, servicios y sistemas objeto de las normas, y el alcance, campo de aplicación, extensión y estructura de éstas también son muy variados. Los documentos que gobiernan o establecen lineamientos para las actividades relacionadas con el sector industrial de la soldadura tienen el propósito de asegurar que se producirán bienes soldados seguros y confiables y que las personas relacionadas con las operaciones de soldadura no estarán expuestas a riesgos o condiciones que pudieran resultar dañinas a su salud. Todo el personal que participa en la producción de bienes soldados, ya sean diseñadores, fabricantes, proveedores de productos y de servicios, personal de montaje o inspectores, tienen la necesidad de conocer, por lo menos, las porciones particulares de las normas que aplican a sus actividades.

### 5.1 Origen de las Normas

Las normas son desarrolladas, publicadas y actualizadas por organizaciones y entidades gubernamentales y privadas con el propósito de aplicarlas a las áreas y campos particulares de sus intereses. Las principales entidades que generan las normas relacionadas con la industria de la soldadura son las siguientes:

SOCIEDAD	SIGLAS O ACRONIMO	NOMBRE EN ESPAÑOL
American Association of State Highway and Transportation Officials	AASHTO	Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportación
American Bureau of Shipping	ABS	Oficina Americana de Barcos
American Institute of Steel Construction	AISC	Instituto Americano de Construcción de Acero
American National Standards Institute	ANSI	Instituto Nacional Americano de Normas
American Petroleum Institute	API	Instituto Americano del Petróleo
American Society of Mechanical Engineers	ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos
American Water Works Association	A W W A	Asociación Americana de Trabajos de Agua
American Welding Society	A WS	Sociedad Americana de Soldadura
Association of American Railroads	AAR	Asociación de Ferrocarriles Americanos

The American Society for Testing and Materials	ASTM	Sociedad Americana de Pruebas y Materiales
International Organization for Standardization	ISO	Organización Internacional para la Normalización
The Society of Automotive Engineers	SAE	Sociedad de Ingenieros Automotrices

Debido a que muchas áreas de interés se traslapan, las entidades involucradas proceden, cuando es posible o práctico, a hacer los acuerdos pertinentes a fin de evitar la duplicación de esfuerzos. Las normas reflejan el consenso de las partes relacionadas con su campo de aplicación, por lo que cada organización que las prepara, tiene comités o grupos de trabajo compuestos por representantes de las diferentes partes interesadas. Todos los miembros de esos comités son especialistas en sus campos, y preparan borradores o versiones preliminares de las normas, mismos que son revisados por grupos más amplios antes de que las versiones finales sean aprobadas. Los integrantes de cada uno de los comités principales se seleccionan entre grupos de productores, usuarios y representantes del gobierno, de manera que incluyan miembros de todos los sectores y estén representados los diversos intereses de todas las partes involucradas. Para evitar el control o influencia indebida de un grupo de interés, debe alcanzarse el consenso de un alto porcentaje de todos los miembros. Los gobiernos federales también se han dado a la tarea de desarrollar normas, o bien a adoptarlas, para aquellos bienes o servicios que resultan de interés público más bien que del privado. Los procedimientos para preparar, publicar y actualizar normas gubernamentales o de aplicaciones militares son similares a los que emplean las organizaciones privadas, y dentro de los organismos federales generalmente existen

comités encargados de preparar las normas para regular las aplicaciones particulares que son de su interés o responsabilidad. En los Estados Unidos de América, la entidad responsable de coordinar las normas nacionales es El Instituto Nacional Americano de Normas. El ANSI es una organización privada que opera a través de grupos de revisión de interés nacional que determinan si las normas propuestas son de interés público. Estos grupos están integrados por representantes de diversas organizaciones relacionadas con los asuntos de cada norma, y si los integrantes del grupo alcanzan el consenso en el sentido del valor general de la norma en cuestión, entonces ésta puede ser adoptada como una Norma Nacional Americana. Si una norma adoptada por el ANSI es invocada por un mandato o regulación gubernamental, su cumplimiento, desde un punto de vista legal, adquiere un carácter obligatorio. Los siguientes ejemplos ilustran situaciones en las que algunas normas sobre bienes soldados, adoptadas por el ANSI, alcanzan la categoría de aplicación obligatoria:

El Código ANSI / ASME para Calderas y Recipientes a Presión, al estar referido en las regulaciones de seguridad de la mayor parte de los estados y las principales ciudades de los Estados Unidos, así como en las provincias del Canadá; obliga a fabricantes, agencias de inspección y usuarios de este tipo de bienes en esas entidades, a cumplir los requisitos de este código, que también está incluido en las regulaciones de algunas agencias federales. El Código para Tuberías sujetas a Presión, ANSI / ASME B31.4, "Sistemas de Transportación Líquida para Hidrocarburos, Gas Líquido de Petróleo, Amoníaco Anhidro y Alcoholes", al estar incorporado por referencia en las regulaciones del Departamento de Transportación de los Estados Unidos, lo convierte, legalmente, en una norma de cumplimiento obligado. El Departamento de Transportación tiene la responsabilidad de regular, en el comercio interestatal, la transportación, a través de

líneas de tubería, de materiales peligrosos, petróleo y sus derivados. Las disposiciones de este departamento están publicadas bajo el Título 49 del Código de Regulaciones Federales de los Estados Unidos, Parte 195. Otros países desarrollados industrialmente; y algunos en vías de desarrollo, también se han dado a la tarea de preparar y publicar las normas necesarias para regular la producción y el comercio de los bienes que fabrican, venden y compran. A manera de ejemplo, se citan algunos organismos nacionales de normalización y el nombre con que son designadas las normas que publican.

<b>SOCIEDAD</b>	<b>SIGLAS O ACRONIMO</b>	<b>NOMBRE EN ESPAÑOL</b>
British Standards Institution	BS	Institución Británica de Normas
Canadian Standards Association	CSA	Asociación de Normas de Canadá
Deutsche Institute für Normung	DIN	Instituto Alemán de Normas
Japanese Standards Association	JIS	Asociación Japonesa de Normas
Asociación Francaise de Normalisation	AFNOR	Asociación Francesa de Normalización
Asociación Española de Normalización y Certificación		

En el ámbito internacional opera la Organización Internacional para la Normalización (International Organization for Standardization -ISO), fundada en 1947 para desarrollar un conjunto común de normas para la manufactura, el comercio y las comunicaciones. Aunque este organismo generalmente es referido como ISO, esta designación técnicamente no tiene un significado directo: es el nombre corto de la organización y

fue derivado de la palabra griega *isos*, que significa *igual*. *Isos* también es la raíz del prefijo "iso". Esta designación fue seleccionada debido a que conceptualmente remite a "igualdad", "uniformidad", "normal". La ISO tiene su sede en Ginebra, Suiza, está compuesta por más de 120 países miembro y la integran aproximadamente 180 comités técnicos que preparan normas preliminares.

## **5.2 Códigos, Normas y Especificaciones**

Como se mencionó anteriormente, los códigos, normas y especificaciones son documentos que regulan a las actividades industriales.

Los códigos, las especificaciones y otros documentos de uso común en la industria tienen diferencias en cuanto a su extensión, alcance, aplicabilidad y propósito. A continuación se mencionan las características clave de algunos de estos documentos.

### **5.2.1 Códigos (Code)**

Código es un conjunto de requisitos y condiciones, generalmente aplicables a uno o más procesos, que regulan de manera integral el diseño, materiales, fabricación, construcción, montaje, instalación, inspección, pruebas, reparación, operación y mantenimiento de instalaciones, equipos, estructuras y componentes específicos.

### **5.2.2 Norma (Stándar)**

El término "norma", tal y como es empleado por la AWS, la ASTM, la ASME y el ANSI, se aplica de manera indistinta a especificaciones, códigos, métodos, prácticas recomendadas, definiciones de términos, clasificaciones y símbolos gráficos que han sido aprobados por un comité patrocinador (vigilante) de cierta sociedad técnica y adoptados por ésta.

### **5.2.3 Especificación**

Una especificación es una norma que describe clara y concisamente los requisitos esenciales y técnicos para un material, producto, sistema o servicio. También indica los procedimientos, métodos, clasificaciones o equipos a emplear para determinar si los requisitos especificados para el producto han sido cumplidos o no.

### **5.2.4 Prácticas Recomendadas**

Son normas que cuyo propósito principal es brindar asistencia, a través de la descripción de reglas y principios de efectividad comprobada sobre una actividad específica, para que los usuarios puedan entenderlos y aplicarlos de manera adecuada antes de emplear algún proceso, técnica o método.

### **5.2.5 Clasificaciones**

Estas normas generalmente establecen arreglos o agrupamientos de materiales, procesos o productos atendiendo a las características que tienen en común, tales como origen, composición, propiedades, procesos de fabricación o uso.

### **5.2.6 Métodos y Guías**

Indican las prácticas reconocidas para realizar actividades tales como las pruebas, análisis, muestreos y mediciones aplicables a un campo específico. Este tipo de documentos establecen los procedimientos necesarios para determinar la composición, integridad, propiedades o funcionamiento de las partes o materiales a los que se aplican. Un método describe procedimientos uniformes que aseguran o mejoran la confiabilidad de los resultados a obtener, y no incluyen los límites numéricos de las propiedades o composición involucradas; tales límites o criterios de aceptación están contenidos en las especificaciones y códigos correspondientes. Ejemplos de este tipo de normas son los métodos de examen no destructivo.

Existen otros tipos de norma, tales como las de definiciones de términos y aquellas de símbolos gráficos. Estos documentos presentan y explican los términos y símbolos estándar propios del dominio específico del campo de aplicación que regulan estas normas. Esta clase de documentos constituyen un recurso que permite el uso de un lenguaje común entre los usuarios, son útiles para el entrenamiento del personal y mejoran la comunicación dentro de la industria.

### 5.3 Aplicabilidad de las Normas y Claves para su Interpretación

El cumplimiento de los requisitos de las normas es obligatorio cuando tales normas están referidas o especificadas en las jurisdicciones gubernamentales, o cuando éstas están incluidas en contratos u otros documentos de compra. El cumplimiento de las prácticas recomendadas o las guías es opcional. Sin embargo, si estos son referidos en los códigos o especificaciones aplicables o en acuerdos contractuales, su uso se hace obligatorio. Si los códigos o los acuerdos contractuales contienen secciones o apéndices no obligatorios, el empleo de las guías o las prácticas recomendadas queda a la discreción del usuario. El usuario de una norma debiera conocer completamente el alcance, el uso previsto y el campo de aplicación de ésta, aspectos que están indicados en la **introducción** o el **alcance** de cada documento. Asimismo, también es muy importante, pero a menudo más difícil, reconocer los aspectos no cubiertos por el documento. Estas omisiones pueden requerir algunas consideraciones técnicas adicionales: Un documento puede cubrir detalles sobre el producto, tales como su forma, sin considerar las condiciones especiales bajo las cuales éste será usado. Ejemplos de estas condiciones especiales no previstas podrían ser la operación del material o parte en atmósferas corrosivas, bajo temperaturas elevadas o sometida a cargas dinámicas o cíclicas en lugar de cargas estáticas. En las normas hay diferencias en cuanto a la forma de lograr el cumplimiento de los requisitos: Algunas establecen exigencias específicas que no permiten acciones alternativas, otras permiten acciones o procedimientos alternos, siempre y cuando se cumpla con los criterios estipulados, mismos que generalmente están dados como requisitos mínimos. Como ejemplo de esta situación puede citarse la resistencia última a la tensión que un

espécimen soldado debe satisfacer o exceder, donde el criterio de aceptación a cumplir es la resistencia a la tensión mínima especificada para el metal base correspondiente. Por otra parte, los requisitos mínimos de una norma particular pueden no ser suficientes para satisfacer las necesidades especiales de cada usuario, por lo que algunos usuarios pueden encontrar que resulta indispensable recurrir a requisitos adicionales para obtener las características de calidad que necesitan cubrir. Las especificaciones, ASTM por ejemplo, de materiales y productos, incluyen los requisitos suplementarios previstos para especificar las características adicionales correspondientes, pero en circunstancias especiales, aún estos podrían resultar insuficientes.

Existen varios mecanismos por medio de los cuales la mayoría de las normas son revisadas. Estos mecanismos se ponen en práctica cuando se detecta que una norma tiene errores, contiene restricciones sin fundamento o no es aplicable con respecto a desarrollos tecnológicos recientes. Algunas normas son actualizadas regularmente en base de periodos establecidos, mientras que otras son revisadas según lo requieran las necesidades. Las revisiones pueden ser en forma de "addenda", o éstas pueden ser incorporadas en documentos que reemplazan a las ediciones obsoletas. Cuando hay preguntas acerca de una norma en particular, con respecto a su interpretación o a un posible error, el usuario debiera contactar con la organización responsable. Cuando el uso de una norma es obligatorio como resultado de una regulación gubernamental o de un acuerdo de compra y venta, es esencial conocer la edición particular del documento que debe de ser empleado. Desafortunadamente no es poco común encontrar situaciones en las que se especifican ediciones obsoletas del documento al que se hace referencia, y tales ediciones deben ser seguidas a fin de poder dar

cumplimiento a los requisitos estipulados. Siempre que existan dudas en cuanto a las ediciones o revisiones de los documentos a ser usados, éstas debieran aclararse antes de que se inicien los trabajos correspondientes. Hay algunas palabras clave que se emplean ampliamente en las normas relacionadas con bienes soldados, y a fin de asegurar su interpretación correcta, es conveniente precisar su significado e intención:

**Shall y Will** (debe de), indican requisitos obligatorios, tales como el uso de ciertos materiales o la realización de determinadas acciones, o ambas cosas. Estos son términos que se encuentran con frecuencia en los códigos y especificaciones. **Should** (podría, debiera), denota que el requisito o aspecto al que se refiere no es obligatorio, pero se recomienda como una buena práctica. Las prácticas recomendadas y las guías generalmente emplean esta palabra.

**May** (puede), indica que la aplicación de la provisión a la cual se hace referencia es de carácter opcional. Algunas normas sobre equipos y estructuras soldadas A continuación se listan algunas de las normas que con mayor frecuencia están asociadas con Los procesos soldadura:

CÓDIGO ANSI / ASME BPV (ASME BPV CODE)	PARA CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN
CÓDIGO ANSI / ASME B31	PARA TUBERIAS SUJETAS A PRESIÓN
CÓDIGO ANSI/AWS D1.1	DE SOLDADURA ESTRUCTURAL -ACERO
CÓDIGO ANSI/AWS D1.2	PARA SOLDADURA ESTRUCTURAL -ALUMINIO
CÓDIGO ANSI/AWS D1.3	DE SOLDADURA ESTRUCTURAL -LÁMINA DE ACERO (ESPESORES DELGADOS, MENORES DE 118")
CÓDIGO ANSI/AWS D1.4	PARA SOLDADURA ESTRUCTURAL - ACERO DE REFUERZO (VARILLAS PARA CONCRETO REFORZADO)

CÓDIGO ANSI/AWS D1.5	PARA SOLDADURA DE PUENTES
CÓDIGO ANSI/AWS D1.6	PARA SOLDADURA ESTRUCTURAL
ESPECIFICACIÓN ANSI/AWS D15.1	DE SOLDADURA DE FERROCARRILES - CARROS Y LOCOMOTORAS
ESPECIFICACIÓN ANSI/AWS D14.1	PARA SOLDADURA DE GRÚAS INDUSTRIALES Y OTROS EQUIPOS DE MANEJO DE MATERIALES
ESPECIFICACIÓN ANSI/AWS D18.1	PARA SOLDADURA DE SISTEMAS DE TUBERÍA DE ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO PARA APLICACIONES SANITARIAS (HIGIÉNICAS)
ESPECIFICACIÓN ANSI/AWS B2.1	PARA LA CALIFICACIÓN - DE PROCEDIMIENTOS Y HABILIDAD DE SOLDADURA
NORMA API 1104	SOLDADURA DE LÍNEAS DE TUBERÍA E INSTALACIONES RELACIONADAS.
PRÁCTICA RECOMENDADA API 1111	PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LÍNEAS DE TUBERÍA PARA HIDRO-CARBURROS EN PLATAFORMAS MARINAS
ESPECIFICACIÓN API 5L	PARA TUBERÍA DE LÍNEA
NORMA API 620	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TANQUES GRANDES DE ALMACENAMIENTO A BAJA PRESIÓN, SOLDADOS
NORMA API 650	PARA TANQUES DE ACERO SOLDADO PARA ALMACENAR PETRÓLEO
ISO 13920	TOLERANCIAS PARA CONSTRUCCIONES SOLDADAS -LONGITUDES, ÁNGULOS, POSICIÓN Y FORMA
ISO 5817	JUNTAS SOLDADAS POR ARCO EN ACERO -GUÍA SOBRE NIVELES DE CALIDAD PARA IMPERFECCIONES

#### **5.4 Normalización , Códigos y Normas de Soldadura Utilizados en el Perú**

En el Perú, la Normalización como actividad sistemática y organizada es de origen reciente. Como primer intento de unificación, se dio la Ley de Pesas y Medidas el 16 de diciembre de 1962, por la que se estableció el Sistema Métrico Decimal, cambiando las unidades de medida usadas hasta ese momento en el país que se derivaron principalmente de las coloniales e incaicas. Posteriormente, la preocupación por la normalización se plasma en una serie de reglamentos y códigos de construcción.

La normalización tal como se entiende actualmente, se inicia con la creación del Instituto Nacional de Normas Técnicas Industriales y Certificación (INANTIC) con ley de Promoción Industrial N 13270 de Noviembre de 1959, que continuó sus actividades hasta 1970. La ley general de Industrias D.L. N° 18350 y posteriormente, los D.L 19262 y 19565 crean y fijan objetivos y funciones del Instituto Nacional de Investigación Tecnológica y Normas Técnicas (ITINTEC), que funcionó hasta Noviembre de 1992.

Actualmente las labores de Normalización están a cargo del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI), creado por Ley 25818 el 24 de Noviembre de 1992., el cual regula o normas las actividades mediante NORMAS TECNICAS PERUANAS.

La industria metalmecánica, industria que tiene como principal proceso productivo la soldadura, en el Perú está enfocada ampliamente en la producción de bienes de capital para la minería y pesca, así como tiene también importante participación en grandes proyectos de infraestructura, proyectos de transporte y almacenamiento de

combustibles ( gas, petróleo, oxígeno) y en todos éstos tiene la necesidad de proporcionar trabajos y/o fabricaciones de alta calidad, seguras y duraderas. Además, en los últimos años las empresas metalmecánicas, han venido trabajando no sólo en el ámbito nacional, sino también en el internacional, ya sea exportando productos, servicios o participando directamente en proyectos en el exterior. Es debido a éstos factores, necesidad de suministrar buenos productos, la globalización ,la exigencia de los clientes y la necesidad de mejorar su competitividad en general, que las empresas tienen que fabricar o suministrar productos y/o servicios que cumplan estándares nacionales e internacionales.

Entonces, en el ámbito de la soldadura, es necesario crear normas nacionales que rijan los estándares a cumplir o adoptar las normas de uso común a nivel internacional que generalmente son dadas por organizaciones en países desarrolladores de la ingeniería de los productos o servicios a suministrar.

Actualmente las normas peruanas relacionadas "con estructuras, líneas de tubería, equipos y componentes soldados no cubren la amplia gama de este tipo de bienes que se producen en el país, por lo que para cubrir las necesidades relacionadas con su diseño, construcción e inspección, se tiene que recurrir a normas extranjeras. Normas que generalmente son americanas, ya que éstas gozan de alto prestigio a nivel internacional, son innumerables industrias que las usan en todo el mundo y son las que más se acoplan al tipo de industria que tenemos, vale decir son las que tienen mayor aplicabilidad en lo que aquí fabricamos o suministramos (equipos de minería, calderas, tuberías de transporte de gases, tanques de almacenamiento de líquidos, estructuras para construcción, etc.)

A continuación se cita las normas, códigos y especificaciones comúnmente usadas en la construcción de uniones soldadas en nuestro país.

#### **5.4.1 Código Asme**

##### **5.4.1.1 Para Calderas y Recipientes a Presión (Asme BPVC).**

ASME son las siglas con las que se le conoce a los códigos aplicados a la Ingeniería Mecánica. Esta agrupación de información técnica, muy reconocida a nivel mundial, presenta una serie de libros conocidos como NORMAS tendientes a la normalización en la fabricación, inspección y control de calidad de ciertos artículos. El código aplicable a la construcción de tanques y recipientes de presión es el: "ASME Boiler and Pressure Vessel – Code Reference". Este código está dividido en 11 secciones identificadas con números romanos. De nuestro interés es la sección IX llamada "Welding and Brazing Qualification" donde se describen los requerimientos para la calificación de los procedimientos de soldadura y soldadores que se utilizarán en la construcción de tanque y recipientes de presión.

##### **5.4.1.2 Sección b31.14- Sistemas de Transportación Líquida para Hidrocarburos, Gas Líquido de Petróleo, Amoníaco Anhidro y Alcoholes.**

Esta sección prescribe requisitos para tubería que transporta líquidos tales como petróleo crudo, condensados, gasolina natural, líquidos de gas natural, gas licuado de

petróleo, alcohol líquido, amoníaco anhidro líquido y productos líquidos de petróleo, entre las instalaciones de contratación de los productores, conjuntos de tanques, plantas de procesamiento de gas natural, refinerías, estaciones, plantas de amoníaco, terminales (marinas, de ferrocarril y de autocamiones) y otros puntos de entrega y recepción.

#### **5.4.2 Código ANSI/AWS D1.1 de Soldadura Estructural -Acero**

Este Código cubre los requisitos aplicables a estructuras de acero al carbono y de baja aleación. Está previsto para ser empleado conjuntamente con cualquier código o especificación que complemente el diseño y construcción de estructuras de acero. Quedan fuera de su alcance los recipientes y tuberías a presión, metales base de espesores menores a 1/8 pulg. (3.2 mm), metales base diferentes a los aceros al carbono y de baja aleación y los aceros con un límite de cedencia mínimo mayor a 100,000 lb./pulg<sup>2</sup> (690 MPa).

#### **5.4.3 Código para Soldaduras de Puentes ANSI/ASHTO/ AWS D1.5**

Esta norma cubre los requisitos de fabricación por medio de soldadura aplicables a los puentes de carreteras, y debe ser usado conjuntamente con la Especificación Estándar para Puentes de Carreteras AASHTO o la Especificación AASHTO para el Diseño de Puentes LRFD.

Las provisiones de este código no son aplicables a la soldadura de metales base de espesores menores a 3 mm.

#### **5.4.4 Norma API 1104 para Líneas de Tuberías e Instalaciones Relacionadas.**

Esta norma aplica a la soldadura por arco y por oxígeno y combustible de tubería empleada en la compresión, bombeo y transmisión de petróleo crudo, productos de, petróleo y gases combustibles, y también para los sistemas de distribución cuando esto es aplicable.

Presenta métodos para la producción de soldaduras aceptables realizadas por soldadores calificados que usan procedimientos y equipo de soldadura y materiales aprobados. También presenta métodos para la producción de radiografías adecuadas, realizadas por técnicos que empleen procedimientos. Y equipo aprobados, a fin de asegurar un análisis adecuado de la calidad de la soldadura. También incluye los estándares de aceptabilidad y reparación para defectos de soldadura.

#### **5.4.5 Norma API 650**

Esta norma, pretende suministrar los parámetros de construcción de tanques para petróleos u otros productos, para que sean construidos con seguridad y un costo razonable. Esta norma se aplica en tanques verticales, cilíndricos, construidos sobre el nivel del piso, con techo cerrado o cielo abierto y con una presión interna no mayor de 2.5 lb/pul<sup>2</sup>.

## **CAPITULO VI**

### **NORMA ASME SECCION IX- CALIFICACION DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA**

Antes de efectuar una soldadura, se deben calificar las especificaciones de su procedimiento, con el fin de comprobar la calidad requerida para dicha soldadura dentro de la producción. La calificación de un procedimiento de soldadura, consiste en ejecutar una muestra de él, realizarle los ensayos determinados por el código de soldadura correspondiente y analizar si es apto o no para una aplicación en particular.

El personal que lleve a cabo el procedimiento de soldadura sometido a calificación estará constituido por soldadores expertos; es decir, que estén facultados para soldar en todo tipo de posición y con los procesos de soldadura más empleados; deberán poseer certificados de calificación o probar su experiencia laboral.

En esta tesis se empleará específicamente el proceso de soldadura FCAW (Flux Core Arc Welding ) mecanizada.

Si las especificaciones del procedimiento de soldadura no aprueban los ensayos, el ingeniero a cargo podrá facultar a personal de mayor experiencia para que suelde

nuevamente dicho procedimiento y/o corregirá las variables esenciales que crea convenientes, de acuerdo al análisis por él realizado, con el fin de recalificar el procedimiento de soldadura.

Si el procedimiento de soldadura pasa todas las pruebas de calificación quedará aprobado para ejecutarse y el soldador que lo haya realizado estará de igual manera calificado para efectuarlo en la obra.

Si fuera necesario contratar más personal, se llamará a prueba de calificación de habilidad a todos aquellos soldadores que lo deseen, para que realicen el procedimiento de soldadura aprobado; en cuyas muestras se aplicarán los ensayos competentes.

Los principales códigos de calificación de soldadura utilizados en nuestro país son: el AWS (American Welding Society), el API (American Petroleum Institute) y el ASME (American Society of Mechanical Engineers). Se elige el código de acuerdo al tipo de servicio que ofrecerá la soldadura; es decir, las características de los esfuerzos y el metal base usado.

El código de calificación de soldadura que regirá este trabajo será el ASME IX ,QUALIFICATION STANDARD FOR WELDING AND BRAZING PROCEDURES, WELDER, BRAZERS AND WELDING AND BRAZING OPERATORS; cuyo contenido da los parámetros necesarios para el diseño y calificación de procedimientos.

### **6.1 Código ASME Sección IX**

La sección IX del código ASME, fue creado originalmente con el propósito de:

La Calificación de Procedimientos de Soldadura y la Calificación de Soldadores para nuevas construcciones tales como: Calderas, Recipientes a Presión según las secciones I y VII del mismo código y para Tuberías de Interconexión según el código ANSI.

Actualmente sirve de Referencia a otros códigos y Estándares de Construcción de uso frecuente, por ejemplo el API 650, los cuales no tienen nada que ver con la calificación de procedimientos ni con la calificación de soldadores y operarios.

#### **6.1.1 Alcances de la Sección IX**

El alcance de la sección IX es:

La Calificación de Procedimientos de Soldadura y

La calificación de Soldadores y Operadores.

En ambos casos para los procesos de soldadura por arco (QW) y los procesos de Soldadura Fuerte (QB), requeridos por el código ASME y por otros códigos y especificaciones.

Esto se encuentra descrito en la introducción de la Sección IX.

En este caso, solo trataremos la parte correspondiente a la Soldadura por arco QW.

En líneas generales la base de la Sección IX es :

PARTE QW:

- Artículo 1: Información General.
- Artículo 2 : Calificación de Procedimientos.

- Artículo 3: Calificación de Soldaduras.
- Artículo 4: Datos de Soldadura

#### PARTE QB: BRAZING

### 6.1.2 Indice de la Sección IX

Sólo haremos referencia a la parte QW

#### PARTE QW

##### ARTICULO 1: REQUERIMIENTOS GENERALES DE SOLDADURA

- QW-100 Generales.
- QW-110 Orientación de Soldadura.
- QW-120 Posiciones de Prueba para Soldaduras de Ranura.
- QW-130 Posiciones de Prueba para Soldaduras de Filete.
- QW-140 Tipos y Propósito de las Pruebas y Exámenes.
- QW-150 Pruebas de Tensión.
- QW-160 Prueba de Doblez y Guiado.
- QW-170 Pruebas de Tenacidad.
- QW-180 Pruebas del Metal de Aporte.
- QW-190 Otras Pruebas y Exámenes.
- APENDICE: Cartas de Indicaciones Redondeadas.

##### ARTICULO 2 : CALIFICACION DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA.

- QW-200: Generales.

- QW-210: Preparación del Cupón de Prueba.
- QW-220: Variables de Soldadura.
- QW-230: Procesos Especiales.

#### ARTICULO 3: CALIFICACION DEL DESEMPEÑO DEL SOLDADOR.

- QW 300 : Generales.
- QW-310: Calificación del Cupón de Prueba.
- QW-320: Recalificación y Prórroga de Calificación.
- QW-350: Variables de Soldadura para el Soldador.
- QW-360: Variables de Soldadura para el Operario.
- QW-380: Procesos Especiales.

#### ARTICULO 4: DATOS DE SOLDADURA

- QW-400: Variables.
- QW-410: Técnicas.
- QW-420: Números P.
- QW-430: Números F.
- QW-440: Composición Química del Metal de Soldadura.
- QW-450: Especímenes o Ejemplares.
- QW-460: Gráficas.
- QW-470: Procesos y Reactivos.
- QW-480: Definiciones.
- APENDICE A: Formatos de Soldadura Sugeridos-No Mandatorios.

- APENDICE B: Preparación de Preguntas Técnicas al Comité de Calderas y Recipientes a Presión- Mandatorio.

### **6.1.3 Exclusiones de la Sección IX**

Algunos ítems que no caen de la Sección IX

- Parámetros para Soldaduras de Producción.
- Estándares de Aceptación/ Requisitos de Inspección para Estándares de Calidad.
- Requisitos de Control de Calidad.
- Selección de Materiales Base y/o Metales de Aporte para las condiciones de Servicio Esperadas.
- Tiempos y Temperaturas requeridos para Alivios Térmicos, posteriores a la Soldadura (PWHT).
- Algunos Procesos de Soldaduras que pueden considerarse en otros Códigos o Estándares de Construcción.

### **6.2 Calificación de Procesos de Soldadura**

La Calificación de una soldadura puede ser realizada para aprobar Especificaciones de Procedimientos de soldadura (WPS), o para Calificar la Habilidad de los Soldadores al ejecutar un procedimiento previamente calificado. Ambos tipos de Calificación se

diferencian en los distintos números de especímenes de prueba asignados para cada rango de espesores del metal base.

Es así que, dentro del universo de información, que constituye la realización de las soldaduras bajo el código ASME SECCION IX, este trabajo abarcará la Calificación de WPS en soldaduras de ranura con penetración completa en la unión, realizadas bajo el proceso FCAW mecanizado (la manera de calificar el proceso mecanizado es similar a la manera de calificar el proceso semiautomático).

### **6.2.1 Formatos de Calificación**

Cuando se desea realizar una construcción metálica soldada, se busca primeramente Calificar las Especificaciones de los Procedimientos de Soldaduras (WPS) aplicables a ese trabajo. Si se emplean en la construcción aceros estructurales, se deberá consultar el Código AWS D1.1 Sección 4. Si las soldaduras son aplicadas en recipientes a presión, debe usarse el código ASME Sección IX. La calificación de la soldadura determinará si es apta para aplicarse bajo las condiciones de servicio particulares. Los soldadores que ejecuten cada WPS deberán ser expertos. Si un WPS aprueba todos los ensayos de calificación correspondientes se detallarán los resultados en el Certificado de Calificación del Procedimiento (PQR) y se emitirá un Registro de Calificación de Operadores y Soldadores (WQR) para cada soldador cuyo WPS fuera aprobado. Consecuentemente, ese soldador u operador queda facultado para ejecutar el WPS en la obra.

### **6.2.1.1 Especificaciones del Procedimiento de Soldadura (WPS)**

Este formato debe contener todas las variables esenciales imprescindibles para describir detalladamente un procedimiento de soldadura. (Ver Anexo A)

### **6.2.1.2 Certificado de Calificación del Procedimiento (PQR)**

El PQR debe estar basado en la información del WPS respectivo. Deberá contener las especificaciones del procedimiento de la soldadura y los resultados positivos de los ensayos de calificación; debido a que, como su nombre lo indica, el PQR certifica que el procedimiento correspondiente ha sido aprobado. (Ver Anexo B)

### **6.2.1.3 Registro de Calificación de Operadores y Soldadores (WQR).**

El Formato WQR reúne las variables esenciales más importantes del WPS de referencia y los resultados de los ensayos descritos en el PQR correspondiente, para otorgar la calificación al soldador que realizó el WPS respectivo.

Este registro de calificación solo lo puede emitir una compañía especializada en ensayos de soldaduras o el departamento de Control de Calidad de la empresa que ejecuta la obra. El tiempo de validez de este certificado no es indefinido.

## **6.2.2 Procedimiento de Calificación**

El objetivo de la calificación de una soldadura es determinar si reúne todos los requisitos visuales y mecánicos para asegurar su calidad, tomando en consideración el tipo de proceso de soldadura, diseño de unión, metal a soldar y metal de aporte; la protección contra la acción atmosférica, la posición de la soldadura, las características eléctricas con las cuales se suelde y la técnica para realizar el cordón; además, de acuerdo al espesor del metal base, la temperatura de precalentamiento e interpase.

### **6.2.2.1 Preparación del WPS**

Una vez establecido el diseño de la soldadura se analiza si la aplicación no es para aplicaciones estructurales sino mas bien, por ejemplo, forma parte de recipientes a presión o tanques de almacenamiento sometidos a presión atmosférica; entonces, el Código ASME SECCION IX debe consultarse en su Tabla QW/QB -422 ( P-NUMBERS) ; la misma que enlista los tipos de materiales con su grupo y especificación correspondiente. También, se consulta los procesos de soldadura contemplados por el código y la especificación del metal de aporte que deben utilizarse en la calificación. Estas especificaciones pueden encontrarse en el código en la tabla QW-432 ( F- NUMBERS).

Determinado el metal base, su espesor y el proceso de soldadura se elegirá el metal de aporte a utilizarse de acuerdo a la magnitud de su esfuerzo de tensión; el cual deberá ser mayor al de trabajo.

Además se debe tener en cuenta la tabla QW-450 del código que especifica los límites de espesores calificados en función del espesor del cupón y también los especímenes necesarios para la realización de las pruebas mecánicas. -Ver Anexo C.

#### **6.2.2.2 Variables Esenciales**

El siguiente paso es determinar las variables esenciales que conformarán las Especificaciones del Procedimiento de Soldadura para llenar el Formato WPS.

Primeramente, se debe en bien claro las variables que se consideran esenciales para cada proceso, en este caso consultaremos la tabla QW-255 para el proceso FCAW (Ver tabla, Anexo D).

Entonces, se tendrá en cuenta lo siguiente, que para el proceso FCAW, el tipo de junta a soldar, la posición de soldeo y la técnica de soldeo no son variables esenciales, así que cualquier cambio en ellas no afectará en la preparación del WPS..

Por el contrario, las variables esenciales serán de mucha importancia y empezaremos como sigue.

En primer lugar, la elección del metal base y su espesor. La clasificación del electrodo a usarse, que será elegida de tal manera que su resistencia supere a la nominal del metal base; además debe tener componente que le den buenas propiedades mecánicas al cordón de soldadura y ser apto para la posición en la cual se vaya a soldar.

El espesor del metal base influirá en el tipo de preparación en la unión y las dimensiones en la raíz. Igualmente, se determinará si se necesita soporte metálico o no.

Ahora podrá elegirse el tamaño (diámetro) adecuado del electrodo dependiendo de las dimensiones en la unión, la raíz y el tipo de posición de soldadura.

En cuanto al método de protección del metal depositado y el charco de soldadura, en contra de los gases atmosféricos, éste depende del tipo de proceso de soldadura a emplearse. Al utilizar FCAW, el gas de protección será elegido de acuerdo al metal base. La boquilla de la pistola de soldar, será del diámetro correspondiente al tamaño del electrodo. La velocidad de flujo del gas será acorde a la velocidad de alimentación del alambre.

Se debe elegir el tipo de corriente. En caso de ser corriente continua (directa), debe vigilarse que la polaridad sea acorde con la penetración requerida y el espesor del metal base. Cada fabricante proporciona información a cerca de la corriente y voltaje recomendados para cada tamaño de electrodo y tipo de proceso de soldadura. Los rangos de corriente y voltaje se eligen conforme al espesor de metal base, el tipo y tamaño del electrodo, y la posición de soldadura. El soldador deberá elegir dentro del rango respectivo para conseguir un arco de características idóneas. Para el proceso FCAW, se determinarán además la velocidad de alimentación del electrodo y el flujo de gas. Al usar FCAW, se ha de especificar el modo de transferencia del metal de aporte sobre el charco de soldadura, basándose en el tipo de metal base empleado.

La técnica usada al depositar el metal de aporte depende de las dimensiones de la unión y el tipo de cordón que se deposite, lo cual también determinará la elección de la velocidad de avance.

El precalentamiento aplicado a un metal base y la temperatura de interpase se deberán también de tener en cuenta, para el tipo de material y su respectivo espesor.

*Para evitar la distorsión en las piezas soldadas es necesario soldar alternando la dirección de los cordones de soldadura; por ejemplo, en una soldadura de posición vertical se debe alternar la progresión de la soldadura de ascendente a descendente, de un pase a otro.*

#### **6.2.2.4 Elaboracion del PQR**

El PQR – Procedure Qualification Record- es el documento que valida y respalda al WPS. Modifica o respalda el procedimiento.

Es un registro de los valores reales de las variables esenciales (y de otras variables si se requieren) empleadas cuando se suelda un cupón. En forma práctica el PQR, documenta los resultados del trabajo de soldadura y los ensayos de los cupones.

#### **Contenido del PQR**

Los datos tomados al soldar y ensayar una probeta, deben cosignarse en el PQR. El *cual debe contener:*

- Las variables esenciales de los procesos empleados en el procedimiento.
- Las variables suplementarias cuando se requiera pruebas de impacto.
- El registro de las variables No esenciales es a elección del fabricante.
- Toda la información que se considere necesaria.

Solo debe consignarse la información real que se observe durante la prueba. No deben registrarse datos que no fueron observados.

El PQR verifica las propiedades de una soldadura mediante la documentación de los resultados de los ensayos destructivos.

### **Etapas de un PQR**

- Escribir un WPS preliminar.
- Soldar un cupón de prueba con base en el WPS.
- Preparar los especímenes de prueba.
- Realizar los ensayos requeridos
- Evaluar los resultados de los ensayos.
- Documentar los resultados en PQR.

### **Tipos de Ensayos Requeridos**

#### **Ensayos Mecánicos para Calificar un WPS**

El código hace referencia a los ensayos requeridos en su sección QW-202, y la geometría de tales especímenes se muestran en la las figuras QW-463 (Ver Anexo E).

Estos ensayos mecánicos son:

- De 1 a 2 ensayos de tensión mínimo.
- De 2 a 4 ensayos de dobléz mínimo.
- 4 Dobleces de lado para espesores mayores de  $\frac{3}{4}$ ".
- 2 Dobleces de cara y 2 de Raíz para espesores menores de  $\frac{3}{8}$ "

## CAPITULO VII

### DESARROLLO EXPERIMENTAL

Como se mencionó al inicio del presente trabajo, nos evocaremos a encontrar un procedimiento de soldadura que nos de alta productividad, alta calidad de acabado y bajo coste de performance, que pueda utilizarle en la construcción de tanques de almacenamiento de petróleo de cuerpos enteramente constituidos de acero ASTM-A36, expuestos a la atmósfera y con fondo plano.

En este contexto, para la construcción de tanques con las características descritas, se toma como referencia el código de construcción API 650, el mismo que se auxilia del código ASME SECCION IX para dar los lineamientos que han de seguirse en la unión y/o soldado de materiales, código ya estudiado en el capítulo anterior y sobre el cual haremos nuestra calificación del procedimiento de soldeo.

Al momento de realizar el soldeo de los cupones de prueba, se procederá a rellenar el formato de WPS, anotando todos los valores de las variables involucradas. Luego los cupones pasarán las respectivas pruebas mecánicas, y si estas fueran satisfactorias se procederá a plasmar los valores de las variables en el formato de calificación PQR.

Teniendo ya nuestro PQR, procederemos a tomar los datos registrados , y las utilizaremos para realizar los cálculos de los índices de productividad asociados al proceso de soldeo.

## **7.1 WPS**

Soldadura de ranura “EN DOBLE V” en plancha de acero ASTM-36 de espesor 16 mm ( este espesor nos calificará espesores desde 5mm hasta 32 mm, según la tabla QW-450 del código) .

Proceso de soldadura FCAW mecanizado con protección gaseosa .

Equipo de mecanización, Marca Gullco y Modelo GK-200FCL con rieles flexibles.

Material de aporte utilizado, alambre tubular E71T, 1.2mm.

Posición de soldeo, 3G vertical ascendente.

Rango de tensión: 20-25 volteos

Gas de protección: CO2 puro.

Velocidad de alimentación de alambre: 210 pulg/min

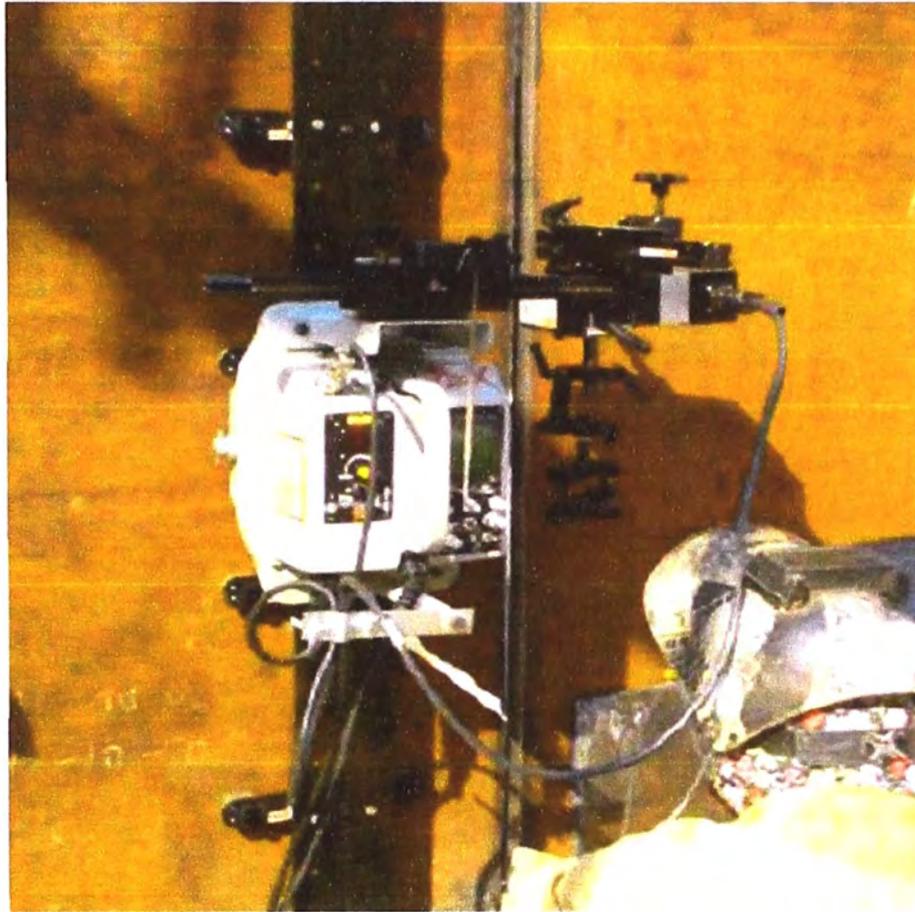


Figura 7.1- Equipo Gullco GK-200FLC

### **7.1.1 Resultados de los Ensayos y Registro del PQR**

En el caso de este WPS, y de acuerdo al código obtuvimos 4 especímenes para la prueba de doblado guiado y 2 para las pruebas de tensión requeridas

En el Ensayo de Tensión con Sección Reducida la ruptura de las probetas se realizó fuera del cordón de soldadura y el esfuerzo de fluencia alcanzado en

cada probeta fue mayor al del metal base ASTM A36 . Ver Figura 8.3 – Curvas del Ensayo de Tensión.

El Ensayo de Doblado Guiado fue aprobado, ya que no hubieron grietas en las probetas.

Se hace referencia que la geometría de los especímenes para los ensayos son de acuerdo . a la la figura QW-463 del código.

Debido a que este WPS aprobó todos los ensayos de calificación se expidió su respectivo Registro Calificación del Procedimiento (PQR) .



Figura 7.2- Especímenes de ensayo de Doblez

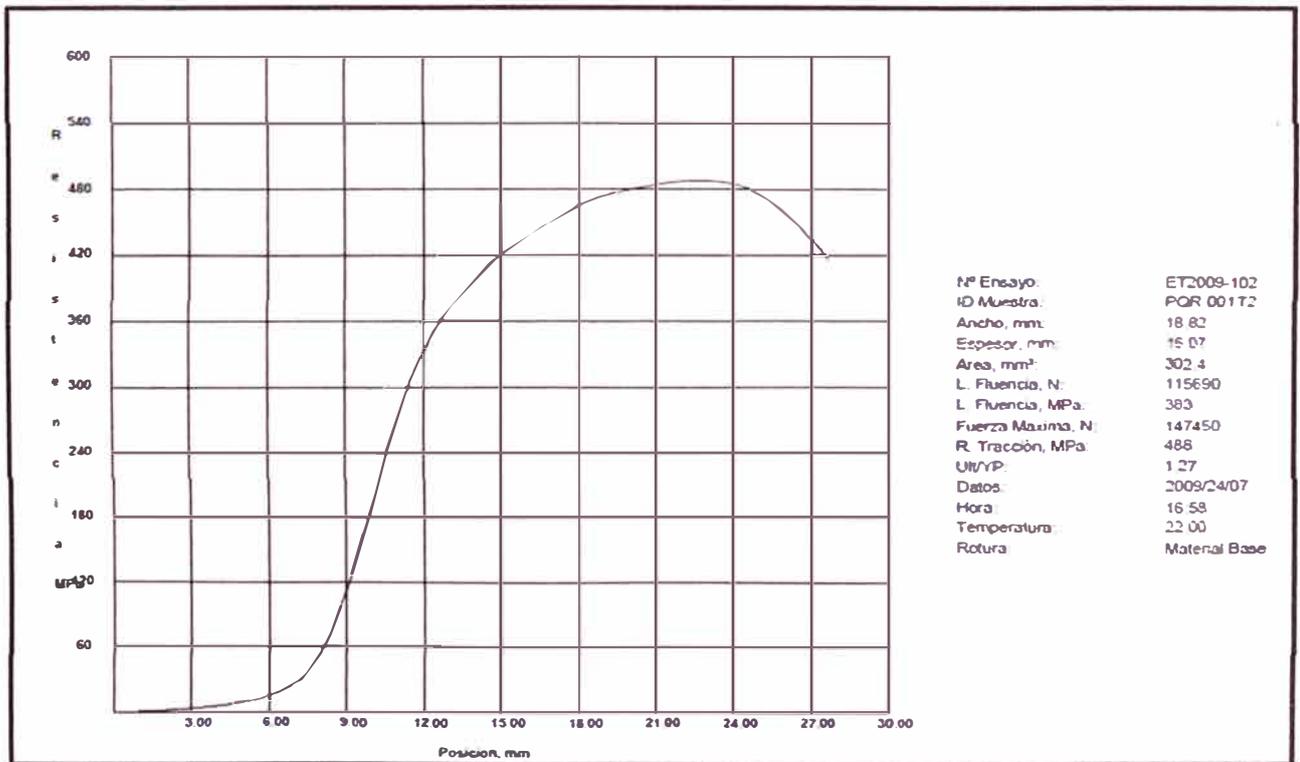
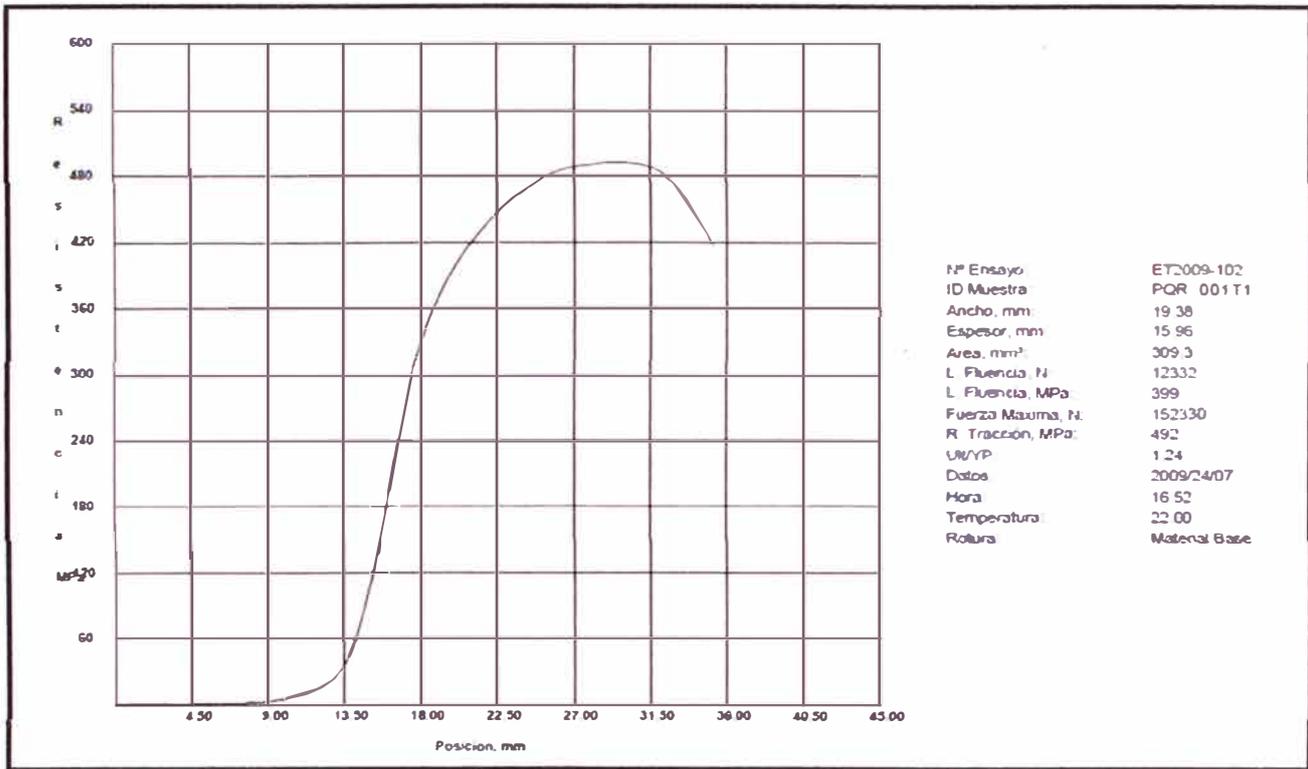
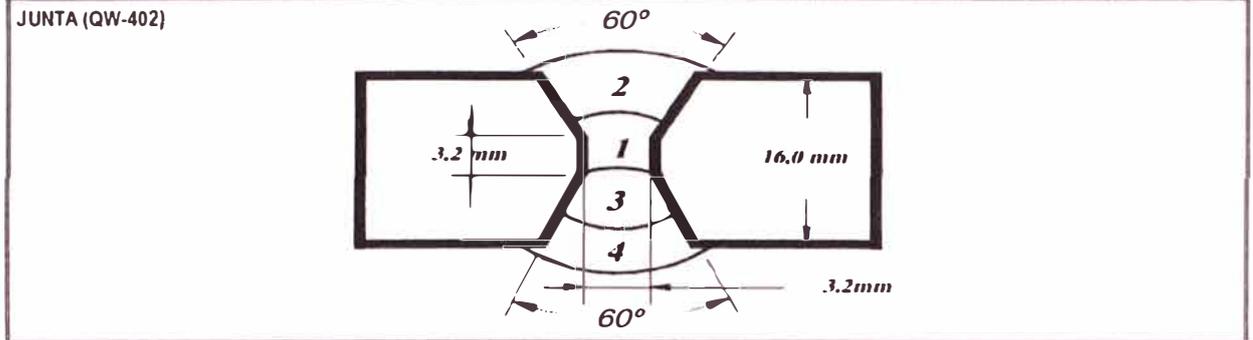


Figura7.3- Ensayos de tracción, especímenes 1 y 2

<b>PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (PQR)</b> <i>(According to Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code)</i>		<b>PQR</b>	
		SHEET	1 de 2
		EMISSION	11/12/11
		REVISION	0

**QW-482 – RECORD ACTUAL CONDITIONS USED TO QUALIFICATION RECORDS (PQR)**

Company Name	HAUG S.A.		
Procedure Qualification Record N°	001	Date	17/11/13
WPS N°	001		
Welding Process(es)	FCAW	Types	Machine



<b>BASE METAL (QW-403)</b> Material Specification: SA-36 Type/Grade, or UNS Number: --- P - No. 1 Group No. 1 to P - No. 1 Group No. 1 Thickness of Test Coupon: T = 16,0 mm Diameter of Test Coupon: --- Maximum Pass Thickness: 4,0 mm Other: ---		<b>POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)</b> Temperature: None Time: None Other: None																						
<b>FILLER METALS (QW-404)</b> SFA Specification: 5.20 AWS Classification: E71T-1 Filler Metal F N°: 6 Weld Metal Analysis A N°: 1 Size of Filler Metal: 1,2 mm. Filler Metal Product Form: Tubular flux cored Supplemental Filler Metal: None Electrode Flux Classification: None Flux Type: None Flux Trade Name: None Weld Metal Thickness: 16,0 mm Trade Name: EXSATUB E71T-1 - Oerlikon		<b>GAS (QW-408)</b> <table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Percent Composition</th> </tr> <tr> <th>Gas(es)</th> <th>Mixture</th> <th>Flow Rate</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CO<sub>2</sub></td> <td>Pure</td> <td>17 l / min</td> </tr> <tr> <td>Shielding</td> <td>None</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>Trailing</td> <td>None</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>Backing</td> <td>None</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>Other</td> <td>None</td> <td>---</td> </tr> </tbody> </table>		Percent Composition			Gas(es)	Mixture	Flow Rate	CO <sub>2</sub>	Pure	17 l / min	Shielding	None	---	Trailing	None	---	Backing	None	---	Other	None	---
Percent Composition																								
Gas(es)	Mixture	Flow Rate																						
CO <sub>2</sub>	Pure	17 l / min																						
Shielding	None	---																						
Trailing	None	---																						
Backing	None	---																						
Other	None	---																						
<b>POSITION (QW-405)</b> Position of Groove: Vertical Weld Progressión: (Uphill, Downhill): Uphill Other: ---		<b>ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)</b> Current: DC Polarity: E (+) Amps: 140-159 A Volts: 22,5 V Tungsten Electrode Size: None Mode of Metal Transfer for FCAW: Globular Other: ---																						
<b>PREHEAT (QW-406)</b> Preheat Temperature: 15°C Interpass Temperature: 90°C max. Other: ---		<b>TECHNIQUE (QW-410)</b> Travel Speed: 1,54 – 2,54 mm / seg String or Wave: Both Oscillation: To 15,0 mm Multipass or Single: Multipass Single or Multiple Electrodes: Single Wire Speed: 210 pulg/min																						

<b>PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (PQR)</b> <i>(According to Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code)</i>	<b>PQR</b>	
	SHEET	2 de 2
	EMISSION	11/12/11
	REVISION	0

PQR No.	<b>001</b>
---------	------------

TENSILE TESTS (QW-150)						
Specimen N°	Width (mm)	Thickness (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	Ultimate Total Load (N)	Ultimate Unit Stress (Mpa)	Type of Failure & Location
<b>T1</b>	<b>19,38</b>	<b>15,96</b>	<b>309,3</b>	<b>152330</b>	<b>492</b>	<b>Break in base metal</b>
<b>T2</b>	<b>18,82</b>	<b>16,07</b>	<b>302,4</b>	<b>147450</b>	<b>488</b>	<b>Break in base metal</b>

Type and Figure N°		Type and Figure N°
<b>PQR-001 S1 ( Face bend )</b>		<b>Accept</b>
<b>PQR-001 S2 ( Face bend )</b>		<b>Accept</b>
<b>PQR-001 S3 ( Root bend )</b>		<b>Accept</b>
<b>PQR-001 S4 ( Root bend )</b>		<b>Accept</b>

TOUGHNESS TESTS (QW-170)							
Specimen N°	Notch Location	Specimen Size	Test Temp	Impact Values			Drop Weight Break (Y/N)
				Ft Lbs	% Shear	Mils	
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---

FILLET WELD TESTS (QW-180)									
Result – Satisfactory.	Yes	---	No	---	Penetration Into Parent Metal	Yes	---	No	---
Macro - Results	<b>None</b>								

OTHER TESTS	
Type of Tests	---
Result :	---
Type of Tests	---
Result :	---

Welder's Name:	<b>Chillingano Pillaca, Jose</b>	Stamp N.	<b>HFC-141</b>
Test Conducted by	_____	Laboratory Test N°	_____

We certify that statements in this record are correct and that the welds were prepared, welded and tested in accordance with the requirements of Section IX of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code – 2010.

Manufacturer or Contractor			
Certified by	<b>Juan Carlos Qulspe</b>	Sign:	Date: <b>17 – Nov – 2013</b>

## 7.2 Cálculos y Resultados de los Índices de Productividad

De los datos obtenidos en la elaboración del PQR, y la fórmulas mostradas en el capítulo 5, obtenemos los siguientes valores para el proceso de soldadura FCAW-mecanizado.

PARAMETROS	UN PASE
AMPERAJE	140-159 A
VOLTAJE	22.5 V
VELOCIDAD DE AVANCE	7.1 (m/h)
VELOCIDAD DE ALIMENTACION	5.334 (m/min)
Peso del metal de aporte necesario por unidad de longitud (WD)	0.3(kg/m)
TIEMPO DE ARCO (TA)	4.9 (min/m)
TIEMPO TOTAL DE ARCO (TAT )	8.0 (min/m)
FACTOR DE OPERACION (OF)	61 %
TASA DE DEPOSICION	3.6 (kg/h)

### 7.3 Cálculo y Resultados de los Costes de Soldadura

<b>COSTOS DE EN EL PROCESO DE SOLDADURA</b>	
TIEMPO DE ARCO (min/m)	4.08
TIEMPO TOTAL DE ARCO(min/m)	6.5
FACTOR DE OPERACION (%)	63
SUELDO DE SOLDADOR (\$/h)	5
<b>MANO DE OBRA (\$/h)</b>	<b>1.2</b>
PESO DE METAL DEPOSITADO (kg/m)	0.3
PRECIO DEL ELECTRODO (\$/kg)	10
EFICIENCIA DEL ELECTRODO (%)	85
<b>COSTO DEL ELECTRODO (\$/m)</b>	<b>2.55</b>
PRECIO DEL GAS (\$/m3)	18
FLUJO DE GAS (m3/h)	1.02
<b>COSTO DE GAS (\$/M)</b>	<b>2.2032</b>
PRECIO DE LA ENERGIA ELECTRICA (\$/kw-h)	0.07
EFICIENCIA DE LA FUENTE DE PODER (%)	80
COSTO DE LA ENERGIA ELECTRICA (\$/m)	0.5
<b>COSTO TOTAL (\$/m)</b>	<b>5.9532</b>

Para el cálculo de los valores mostrados, se utilizaron datos como el sueldo de soldador, costo del electrodo, costo del gas obtenidos del mercado nacional y que actualmente se manejan en la industria metaalmecánica. El valor del costo de energía eléctrica, se obtuvo de la página web oficial del OSINERGMIN (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería)

## **CAPITULO VIII**

### **APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO EN LA FABRICACION DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE PETROLEO**

Elaborado el procedimiento de soldadura, y habiendo ya encontrado sus valores de productividad y costos asociados, pasaremos a utilizar dicho procedimiento en la práctica. Para esto procederemos a soldar un tanque vertical expuesto a la presión atmosférica y que servirá para el almacenamiento de petróleo, a continuación los datos técnicos del tanque.

Diámetro: 3.1m

Altura: 6.4 m

Espesor de cuerpo: 12mm

Material : ASTM A36

Código de Construcción: API 650

El cuerpo del tanque estará formado por 3 anillos, dos de 2.2 m de ancho y uno 2 m.

Se aplicará el proceso FCAW mecanizado a las costuras verticales del cuerpo.

Antes, de mostrar los resultados que se obtuvieron en cuanto a la mejora de los tiempos de producción y costos, se muestra primero para el tanque, el tiempo programado por la empresa para la fabricación y el costo del mismo, teniendo en cuenta que en un inicio se iba usar el proceso de soldadura convencional FCAW semiautomático



Figura 8.1: Tanques de Almacenamiento de Petróleo

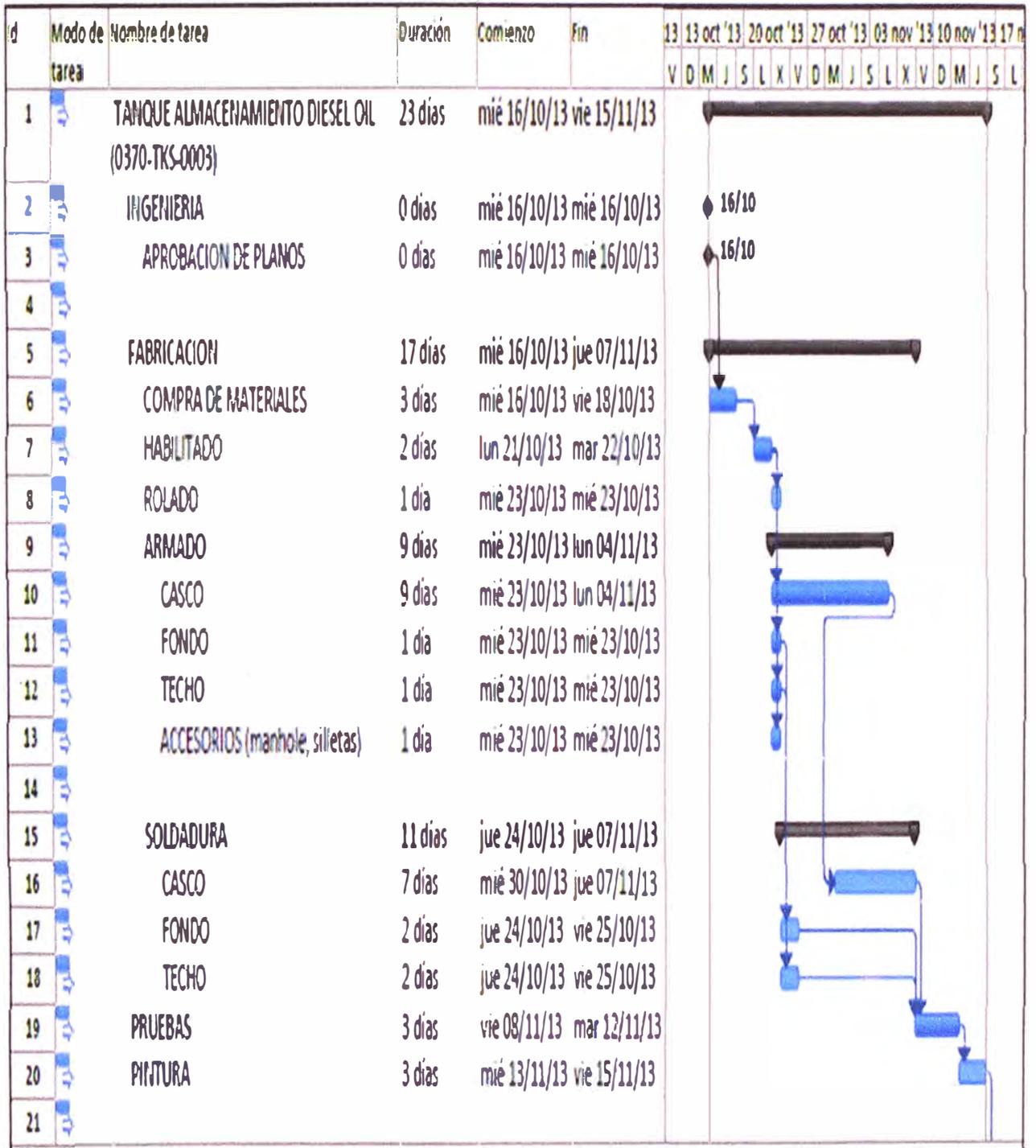


Figura 8.2: Cronograma de Fabricación usando Proceso semiautomático

Ingeniería		<b>RELACIÓN DE PARTIDAS MECANICAS</b>		Propietario		
<b>PARTIDAS MECANICAS</b>						
Proyecto: <i>Tanque Vertical para Almacenamiento de Petróleo</i>						
Cliente:						
Item	Descripción	Und.	Metado	PRECIO UNITARIO	PRECIO PARCIAL	
<b>04</b>	<b>MONTAJE METAL MECANICO ( CONSTRUCCION DE TANQUE VERTICAL SOLDADO )</b>					<b>68.829.00</b>
<b>04.01</b>	<b>FONDO</b>					
04.01.00	SUMINISTRO DE PLANCHAS	KG	929.00	1.29	1,200.00	
04.01.01	REVISION, LIMPIEZA, CUADRADO, BISELADO Y CORTE DE PLANCHAS	KG	4,427.06	0.08	343.54	
04.01.02	PRESENTACION DE PLANCHAS PARA FONDO DE TANQUE	KG	4,918.03	0.09	420.00	
04.01.03	ARMADO DE PLANCHAS PARA FONDO DE TANQUE	KG	1,228.80	0.41	500.00	
04.01.04	SOLDADURA DE PLANCHAS PARA FONDO DE TANQUE	KG	1,227.00	0.33	425.00	
<b>04.02</b>	<b>CILINDRO</b>					
04.02.00	SUMINISTRO DE PLANCHAS	KG	5,117.18	1.27	6,515.26	
	CORTE DE PLANCHAS				624.54	
04.02.01	REVISION, LIMPIEZA, CUADRADO, BISELADO	KG	30,930.99	0.08	2,400.40	
04.02.02	ARMADO DE PLANCHAS DE CILINDRO Y ANGULOS DE REFUERZO	KG	3,903.07	0.55	2,144.50	
04.02.03	SOLDADO DE PLANCHAS DE CILINDRO	KG	58,872.66	0.43	25,348.40	
04.02.04	ROLADO DE PLANCHAS Y PERFILES	KG	12,529.88	0.14	1,734.60	
<b>04.03</b>	<b>TECHO</b>					
04.03.02	REVISION, LIMPIEZA, CUADRADO, BISELADO Y CORTE DE PLANCHAS	KG	13,555.42	0.07	995.18	
04.03.04	ARMADO DE PLANCHAS PARA TECHO FIJO	KG	1,038.98	0.48	500.00	
04.03.05	SOLDADO DE PLANCHAS PARA TECHO FIJO	KG	987.88	0.44	425.00	
04.03.07	SUMINISTRO DE PLANCHAS DEL TECHO	KG	929.03	1.29	1,200.00	
<b>04.04</b>	<b>CARPINTERIA METALICA</b>					
04.04.01	ESCALERA EN ESPIRAL PARA TANQUE ALMACENAMIENTO	ML	8.02	306.29	2,457.60	
04.04.02	BARANDA PERIMETRAL DEL TANQUE	ML	42.43	35.71	1,515.32	
04.04.04	ARENADO AL METAL BLANCO DE ESTRUCTURAS	M2				
04.04.05	PINTADO CON ZINC INORGANICO POLIURETANO DE ESTRUCTURAS	M2				
<b>04.05</b>	<b>ACCESORIOS DE LOS TANQUE</b>					
04.05.01.01.01	ENTRADA DE HOMBRE EN TECHO, SOLDADA A PLANCHA	PZA	1.68	656.28	1,100.43	
04.05.01.01.06	SISTEMA DE MEDICION AUTOMATICA DE TEMPERATURA	UND	0.00	1,867.37		
04.05.01.01.07	TUBO DE CALMA PARA MEDICION AUTOMATICA DE TEMPERATURA	KG	83.83	5.02	420.00	
04.05.01.01.08	INDICADOR DE NIVEL	PZA	0.00	2,594.44		
04.05.01.01.10	TUBO DE CALMA PARA MEDICION MANUAL DE NIVEL	KG	48.51	6.15	298.55	
<b>04.05.01.02</b>	<b>ACCESORIOS DEL CILINDRO DEL TANQUE</b>					
04.05.01.02.03	ENTRADA DE HOMBRE DE PARED, SOLDADA A PLANCHA	PZA	0.86	1,328.24	1,138.49	
04.05.01.02.05	CONEXION DE SALIDA	PZA	0.43	650.14	278.63	
04.05.01.02.07	CONEXION DE INTERRUPTOR DE NIVEL BAJO	PZA	0.43	47.00	20.14	
04.05.01.02.08	CONEXION DE INTERRUPTOR DE NIVEL ALTO	PZA	0.43	47.00	20.14	
04.05.01.02.09	CONEXION DE DRENAJE DE FONDO	PZA	0.43	1,747.46	748.91	
04.05.01.02.10	CONEXION DE PURGA DE FONDO	PZA	0.43	172.72	74.02	
04.05.01.02.16	CONEXION A TIERRA DE TANQUES	UND	1.71	4.89	8.39	
<b>04.06</b>	<b>PRUEBAS EN TANQUE Y OTROS</b>					
04.06.01	PRUEBA HIDROSTATICA Y FLOTACION	UND	0.37	3,500.00	1,300.00	
04.06.02	PRUEBA DE VACIO EN FONDO	M2	232.85	0.96	223.54	
04.06.02a	PRUEBA DE VACIO EN TECHO	M2	269.82	1.21	321.40	
04.06.04	INSPECCION RADIOGRAFICA, INCLUYE DIAGNOSTICO	PCA	122,774.71	0.02	2,200.00	
04.06.04a	INSPECCION LIQUIDOS PENETRANTES EN FONDO CILINDRO Y TECHO	ML	98.51	5.200	512.24	
<b>04.07</b>	<b>LIMPIEZA Y PINTADO DE TANQUES</b>					
04.07.01	ARENADO AL METAL BLANCO DE TANQUES Y ACCESORIOS, INTERIOR	m2	586.23	4.49	2,678.40	
04.07.02	ARENADO AL METAL BLANCO DE TANQUES Y ACCESORIOS, EXTERIOR	m2	775.20	4.49	3,482.40	
04.07.04	PINTADO EXTERIOR DE TECHO Y CILINDRO, ZINC INORGANICO POLIURETANO	M2	191.83	9.62	1,845.20	
04.07.05	PINTADO INTERIOR DEL TECHO, FONDO Y CILINDRO	M2	171.41	8.51	1,458.50	
04.07.06	PINTADO ESTRUCTURAS METALICAS INTERIORES	M2	174.71	8.51	1,486.60	
04.07.07	PLACA, ROTULADO, Y NUMERACION DEL TANQUE	M2	14.30	8.51	130.22	
04.07.08	ROMBO PARA IDENTIFICACION DE RESGOS	M2	30.61	10.89	333.24	
<b>Total</b>						<b>68,829.00</b>

Figura 8.3: Presupuesto de fabricación de Tanque Vertical, usando Proceso Semiautomático

Este presupuesto fue realizado teniendo valores de ratios medidos en la planta de producción de la empresa, y son valores reales medidos en los distintos trabajos de fabricación. Estos valores son por ejemplo:

El tiempo que se tarda un operario para realizar junta de bisel "V" a 60° es una plancha de espesor de 12 mm es de 5 m/h.

El costo de para realizar u bisel en "V" a 60 ° en una plancha de 12mm es de 8 \$/m, entonces se tiene un costo de biselado de 40 \$/ h. El costo considerado en el presupuesto por biselado y preparación y acomodo de la pieza a soldar es de 2400.4\$, entonces cocluimos que se esta presupuestando preparar las juntas a soldar en 60 h. Ahora, en la soldadura se tiene que el tiempo de soldeo es de 7 días, a un costo total de 25 348.42 \$ (Esto es un costo total, tanto de las costuras verticales y de las circulares en el cuerpo del tanque) , lo que nos da un valor de 3621.2 \$/día, la idea es ver cuánto tiempo nos consumiremos si utilizamos el soldeo mecanizado.

### **8.1 Resultados Obtenidos**

El resultado que se obtuvo al realizar el soldeo con la máquina gullco fueron los siguientes.

**TIEMPO DE BISELADO:**, Este tiempo aumentó en un 30%, lo que quiere decir, preparación de junta y acomodo del material, lo que traducido en dinero significa un aumento de 720 \$ en esta operación.

**TIEMPO DE SOLDADURA:** Se consiguió que las soldaduras estuvieran listas en 5 días, lo que nos da un ahorro de 7 242.4 \$ en ésta operación.

Por lo tanto, se tiene un ahorro neto de :

Ahorro:  $= 7\,242\$ - 720\$ = 6\,552\,4889$  en la operación de soldeo del cuerpo del tanque, éste resultado es sólo para un tanque, el proyecto constaba de 8 tanques de similares características, obteniéndose un ahorro total de 52 416 \$.

## CAPITULO IX

### ANALISIS DE RESULTADOS

- Se obtiene un factor de operación de 63 %, que es un valor relativamente alto comparadas con los respectivos valores en el proceso semiautomático que generalmente va del 40 al 50%, este valor nos indica que habrá mucho menos tiempo muerto en el proceso.
- La tasa de deposición obtenida de 3.6 kg/h es también un valor alto, teniendo en cuenta que en el proceso semiautomático, para las mismas condiciones de amperaje y diámetro de electrodo está en bordeando los 2kg/h, lo que nos indica el valor encontrado es que habrá una mayor cantidad de aporte por unidad de tiempo.
- El valor de costo total encontrado es de 5.9 \$/m. El valor promedio de costo de soldadura que tienen las metalmecánicas para elaborar sus ofertas es de 9 \$/m sin considerar los gastos generales, por lo que el valor de 5.9 se ve bastante atractivo para empezar a implementar los procesos mecanizados, aunque también se tiene que tener en cuenta que los gastos de implementación y capacitación de personal serán altos en un inicio.

- En la aplicación del soldeo del tanque con el proceso mecanizado, se obtiene que en el proceso de preparación de la junta hay un aumento de tiempo, esto debido a que el proceso mecanizado requiere una mejor preparación de bisel, cuidando de darle la profundidad, geometría, y simetría correcta, para la correcta deposición y penetración, además otro factor del aumento del tiempo es el posicionamiento de la pieza a soldar y el mecanismo de soldeo, ya que hay que hacer trabajos precisos de posicionamiento y cuadro entre la antorcha de soldeo y el bisel, así como también las rieles del equipo con la trayectoria de la costura.
- En esta aplicación del tanque también se notó que con el proceso mecanizado se obtienen cordones de buen aspecto y regularidad; y hay también una reducción notable en el tiempo de soldeo, lo que se traduce en ahorro en costos de mano de obra, tiempos muertos, retrabajos y material de aporte, en particular en éste proyecto se obtuvo un ahorro de \$.52 416

## CONCLUSIONES

- Por el presente trabajo se concluye que todas las personas involucradas en procesos productivos que utilicen soldadura deben conocer bastante bien el tipo de proceso con el que se realiza el soldeo, conocer sus características, parámetros y campos de aplicación, sólo con ese conocimiento será capaz de saber el tipo de operación que va realizar y si está puede ser ejecutada en formas alternativas y de mayor productividad.
- Se concluye, del estudio de las distintas normas de construcción y referencia, que debemos familiarizarnos bastante bien con ellas, ya que nos ayudarán a seguir determinados métodos y caminos que al ser aplicados correctamente conseguiremos obtener productos finales de calidad.
- Las soldaduras del procedimiento 001 realizada con el proceso FCAW mecanizado pasaron todas las pruebas de calificación. Este resultado demuestra que dicho procedimiento es apto para aplicarse en la producción. Además, el soldador correspondiente quedó calificado para efectuarla en obra. Debe destacarse que la buena combinación de parámetros y la constante

velocidad de avance ayudó a obtener cordones de buen aspecto y excelentes propiedades para lograr la calificación.

- El procedimiento calificado, no limita su aplicación sólo a tanques de almacenamiento abiertos a la atmósfera, sólo se tomó esa premisa para tener una justificación del por qué debemos de calificar con el código ASME IX. Por lo tanto el procedimiento puede servir para construcciones de tanques a presión, calderas u otras aplicaciones donde los códigos de construcción hagan referencia a la norma ASME IX para la calificación de soldaduras.
- El proceso de soldadura FACW es susceptible de ser mecanizado.
- Los indicadores de productividad en soldadura, como el factor de operación la tasa de deposición y la eficiencia de deposición, son útiles para comparar procesos de soldadura y métodos de soldeo. Por ejemplo, en nuestro trabajo, para el soldeo mecanizado, encontramos valores de tasa de deposición de 3.6 kg/h y un factor de operación de 63%.
- Se comprueba, de los indicadores mostrados anteriormente, que el procedimiento de soldadura mecanizado muestra ser más productivo que aquellos realizados de manera semiautomática, ya que usualmente éstos tienen factores de operación de alrededor del 50% y tasa de deposición de alrededor de los 2kg/h.
- La tesis demuestra, que el soldeo mecanizado presenta un alto potencial de incremento en la capacidad de producción al disminuir el tiempo de terminación de un producto, con lo que también se obtiene una reducción en el porcentaje de costo total ocupado por la mano de obra.

- El proceso mecanizado precisa al inicio una alta inversión en su implementación, esto debido a los equipos de mecanización a comprar, equipos y herramientas auxiliares y al entrenamiento o capacitación que será necesario dar a los soldadores para que puedan operar dichos equipos correctamente. La fuente de alimentación de soldadura manual moderno cuesta menos de 5000 \$, a menudo los sistemas semiautomáticos comienzan alrededor de los 25 000 \$ y para los sistemas mecanizados unos 50 000 \$ para un sistema llave en mano.
- Existen varios niveles de automatización en la soldadura de arco eléctrico, desde la manual hasta la de control adaptativo. Para implementar la automatización de un proceso y decidir qué nivel debe ser implementada, varios aspectos deben ser estudiados, tales como, la inversión inicial de implementación, el tipo de trabajo a realizar, la calidad de soldadura requerida, y la flexibilidad de los sistemas automáticos.
- Al tener soldaduras que requieran de un proceso repetitivo, entonces con una preparación adecuada de las piezas a soldar, un sistema automático con una tarea preprogramada garantizará la repetibilidad y la productividad del proceso.
- El coste total por metro de soldadura, realizado por medio del proceso FACW mecanizado tiene un valor de 6\$/m lo que demuestra que es más económico que su similar semiautomático, el cual tiene un costo promedio de 11\$/m.
- Se demuestra que es bastante viable la aplicación del proceso FCAW mecanizado en la fabricación de tanques de almacenamiento de líquidos, ya que se obtuvieron cordones de buen aspecto, buena regularidad y con cero defectos, además se disminuyó el tiempo total de soldeo, ahorrándose con

esto en mano de obra, tiempos muertos, retrabajos, y merma de material de aporte; traduciéndose esto en un ahorro para el proyecto de 52 416 \$.

- El proyecto tomado como ejemplo en este trabajo es relativamente pequeño, pero aún así se consiguió un ahorro con el proceso de soldeo mecanizado, ahora si extrapolamos los resultados y los aplicamos a proyectos grandes o megaproyectos, en donde haya un número alto de trabajos repetitivos y que puedan realizarse con la aplicación de soldadura mecanizada, se garantiza que los beneficios serán bastante altos.
- El ahorro obtenido, servirá para que la empresa pueda bajar sus precios de costos de fabricación y sea más competitiva para futuros proyectos en donde participe por la adjudicación.

## RECOMENDACIONES

- Se debe tener cuidado al momento de escoger las normas a usar para la calificación de soldaduras, se debe definir bien primero para que aplicación será usado el procedimiento y luego en base a esto se debe seleccionar la norma de calificación adecuada.
- Se recomienda que al momento de anotar los valores de los parámetros utilizados en el soldeo del cupón de calificación, se debe tener bastante exactitud y sólo anotar valores reales observados.
- Al momento de implementar los procesos mecanizados en la industria metalmecánica es necesario que las empresas que comercializan los equipos presten una asistencia especializada. Además, se requiere que las empresas interesadas en implementar esta tecnología capaciten adecuadamente a los ingenieros y técnicos. Si no se tiene en cuenta esto el equipo comprado puede entrar rápidamente en desuso y cerrar el camino al ingreso de nuevas tecnologías.
- Debido a la necesidad de obtener productos de calidad, se recomienda siempre trabajar con las normas aplicables a la actividad realizada, conocer,

entender y utilizar dichas normas siempre será una necesidad para cumplir con los estándares de calidad requeridos.

- A pesar que el proceso mecanizado precisa, al inicio, sólo de un ajuste de parámetros, es recomendable que este ajuste sea realizado por un operario con basta experiencia y que pueda combinarlos muy bien para la aplicación necesaria. Además se precisa de la experiencia y el entrenamiento para que sepa el momento preciso cuando debe reajustar las variables si algo en el proceso de soldeo no va bien.
- El hecho de que en muchas situaciones el proceso de soldadura mecanizado resulta más productivo y de menor coste, no quiere decir que en todas las aplicaciones esto será así. Para determinar el método de soldeo a usar, se recomienda primero hacer un profundo análisis de las condiciones y características del trabajo a realizar, para luego recién poder inclinamos hacia un determinado método.

## BIBLIOGRAFIA

- “Manual del Soldador”, Cesol 6ta Edición, Germán Hernández Riesco.
- Manual de Soldadura-OERLIKON 7th Edición
- HORMWITZ H.; “Soldadura: Aplicaciones y Practica”; Alfa omega; México; 1990.
- Soldadura y Corte de Materiale, M. Janapetov- Editorial Mir, Moscú
- <http://www.esab.es/es/sp/education/proceso-fcaw>
- Soldeo con alambre Tubular, Departamento de Formación-Lincoln Electric
- [http://www.comunidadindustrial.com/knowledge/kb\\_show.php?id=23](http://www.comunidadindustrial.com/knowledge/kb_show.php?id=23)
- “The procedure Handbook of Arc Welding”, Lincoln Electric Company,2005.
- Modern Welding Technology. 5<sup>th</sup> Edition, Howard B. Cary-Prentice Hall, Columbus Ohio.
- Welding, Principles and Applications 5<sup>th</sup> Edition, Larry Jeffus,.
- “AWS Welding Handbook”, Miami, American Welding society, 9<sup>th</sup> Edición
- <http://www.slideshare.net/guest43eb75/clasificacion-de-los-procesos-desoldadura-2719818>.
- Manual de Soldadura Indura
- Welding, Principles and Practices, Raymond Sacks, MacGraw-Hill, New York.
- Sagues Paul, “Adaptative control techniques advances automatic welding”, Welding Journal 89 No 8 Agosto de 2010 .

- B E Paton, V F Moshkin, V A Lebedev & V G Pichak, "Direction of development and improvement of highly efficient equipment for mechanised arc methods of welding, surfacing and cuttong". Welding Intemational, 2000
- " Cuando conviene automatizar un proceso de soldadura con robots", Víctor Liste, Industrial Robotic Solution.
- "Welding Related-Expenditures, Investments and Productivity Measurement in Manufacturing, Construction and Mining Industries", AWS-EWI May,2002.
- [www.gullco.com](http://www.gullco.com)
- "Gas Metal Arc Welding for High Productivity Applications", Nick Kapustka, Marc Purslow, Steve Massey-Edison Welding Institute (EWI), USA, 2010.
- "Arc Welding Automation", Eduardo José Lima II and Alexandre Queiroz Bracarense, Universidad Federal de Minas Gerais, Brazil.
- "Inspección y control de calidad en la aplicación de soldadura", Saulo Mejía, Univesidad de Antioquia, Colombia.
- "ASME 2010 Boiler and Pressure Vessel Code IX, Qualification Estándar for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators"- Welding and Brazing Qualifications.
- <http://www.bvindecopi.gob.pe/pymes/soldadura.pdf>
- <http://www.deperu.com/abc/marcas-y-patentes/2694/la-normalizacion-en-el-peru>
- <http://senavirtualcursos.co/codigos-y-normas-soldadura/>
- "Determinación de electrodos y cálculo de costos de soldadura alarco asistidos por computadora"; Bazac C. Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Mecánico; UNIVERSIDAD DE PIURA; Perú; 1998
- "Estimación de los Costos en Soldadura Eléctrica", Alexis Tejedor de León, Universidad Tecnológica de Panamá, 2013.
- <http://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/welding-costs-096/>

**ANEXOS**

## ANEXO A- FORMATO PARA WPS

<b>QW-482 SUGGESTED FORMAT FOR WELDING PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS)</b> (See QW-200.1, Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code)																																																					
Company Name _____ By _____ Welding Procedure Specification No. _____ Date _____ Supporting PQR No.(s) _____ Revision No. _____ Date _____																																																					
Welding Process(es) _____ Type(s) _____ <small>(Automatic, Manual, Machine, or Semi-Automatic)</small>																																																					
<b>JOINTS (QW-402)</b> Joint Design _____ Root Spacing _____ Backing: Yes _____ No _____ Backing Material (Type) _____ <small>(Refer to both backing and retainers)</small>  <input type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Nonfusing Metal <input type="checkbox"/> Nonmetallic <input type="checkbox"/> Other Sketches, Production Drawings, Weld Symbols, or Written Description should show the general arrangement of the parts to be welded. Where applicable, the details of weld groove may be specified.  [At the option of the manufacturer, sketches may be attached to illustrate joint design, weld layers, and bead sequence (e.g., for notch toughness procedures, for multiple process procedures, etc.)]	<b>Details</b>																																																				
<b>*BASE METALS (QW-403)</b> P-No. _____ Group No. _____ to P-No. _____ Group No. _____ OR Specification and type/grade or UNS Number _____ to Specification and type/grade or UNS Number _____ OR Chem. Analysis and Mech. Prop. _____ to Chem. Analysis and Mech. Prop. _____ Thickness Range: Base Metal:      Groove _____      Fillet _____ Maximum Pass Thickness $\leq$ 1/2 in. (13 mm)      (Yes) _____      (No) _____ Other _____																																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 70%;"></th> <th style="width: 15%; text-align: center;">1</th> <th style="width: 15%; text-align: center;">2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Spec. No. (SFA) _____</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>AWS No. (Class) _____</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>F-No. _____</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>A-No. _____</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Size of Filler Metals _____</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Filler Metal Product Form _____</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Supplemental Filler Metal _____</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Weld Metal</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>    Thickness Range:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>        Groove _____</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>        Fillet _____</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Electrode-Flux (Class) _____</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Flux Type _____</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Flux Trade Name _____</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Consumable Insert _____</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Other _____</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				1	2	Spec. No. (SFA) _____			AWS No. (Class) _____			F-No. _____			A-No. _____			Size of Filler Metals _____			Filler Metal Product Form _____			Supplemental Filler Metal _____			Weld Metal			Thickness Range:			Groove _____			Fillet _____			Electrode-Flux (Class) _____			Flux Type _____			Flux Trade Name _____			Consumable Insert _____			Other _____		
	1	2																																																			
Spec. No. (SFA) _____																																																					
AWS No. (Class) _____																																																					
F-No. _____																																																					
A-No. _____																																																					
Size of Filler Metals _____																																																					
Filler Metal Product Form _____																																																					
Supplemental Filler Metal _____																																																					
Weld Metal																																																					
Thickness Range:																																																					
Groove _____																																																					
Fillet _____																																																					
Electrode-Flux (Class) _____																																																					
Flux Type _____																																																					
Flux Trade Name _____																																																					
Consumable Insert _____																																																					
Other _____																																																					

**QW-482 (Back)**

WPS No. \_\_\_\_\_ Rev. \_\_\_\_\_

<b>POSITIONS (QW-405)</b> Position(s) of Groove _____ Welding Progression: Up _____ Down _____ Position(s) of Fillet _____ Other _____	<b>POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)</b> Temperature Range _____ Time Range _____ Other _____
--	---

<b>PREHEAT (QW-406)</b> Preheat Temperature, Minimum _____ Interpass Temperature, Maximim _____ Preheat Maintenance _____ Other _____ (Continuous or special heating, where applicable, should be recorded)	<b>GAS (QW-408)</b> <table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td></td> <td align="center" colspan="3">Percent Composition</td> </tr> <tr> <td></td> <td align="center">Gas(es)</td> <td align="center">(Mixture)</td> <td align="center">Flow Rate</td> </tr> <tr> <td>Shielding</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Trailing</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Backing</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Other</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> </table>		Percent Composition				Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate	Shielding	_____	_____	_____	Trailing	_____	_____	_____	Backing	_____	_____	_____	Other	_____	_____	_____
	Percent Composition																								
	Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate																						
Shielding	_____	_____	_____																						
Trailing	_____	_____	_____																						
Backing	_____	_____	_____																						
Other	_____	_____	_____																						

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)**

Weld Pass(es)	Process	Filler Metal		Current Type and Polarity	Amps (Range)	Wire Feed Speed (Range)	Energy or Power (Range)	Volts (Range)	Travel Speed (Range)	Other (e.g., Remarks, Comments, Hot Wire Addition, Technique, Torch Angle, etc.)
		Classifi-cation	Diameter							

Amps and volts, or power or energy range, should be recorded for each electrode size, position, and thickness, etc.

Pulsing Current \_\_\_\_\_ Heat Input (max.) \_\_\_\_\_

Tungsten Electrode Size and Type \_\_\_\_\_  
(Pure Tungsten, 2% Thoriated, etc.)

Mode of Metal Transfer for GMAW (FCAW) \_\_\_\_\_  
(Spray Arc, Short Circuiting Arc, etc.)

Other \_\_\_\_\_

**TECHNIQUE (QW-410)**

String or Weave Bead \_\_\_\_\_

Orifice, Nozzle, or Gas Cup Size \_\_\_\_\_

Initial and Interpass Cleaning (Brushing, Grinding, etc.) \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Method of Back Gouging \_\_\_\_\_

Oscillation \_\_\_\_\_

Contact Tube to Work Distance \_\_\_\_\_

Multiple or Single Pass (Per Side) \_\_\_\_\_

Multiple or Single Electrodes \_\_\_\_\_

Electrode Spacing \_\_\_\_\_

Peening \_\_\_\_\_

Other \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## ANEXO B

### FORMATO PARA PQR

**QW-483 SUGGESTED FORMAT FOR PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS (PQR)**  
**(See QW-200.2, Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code)**  
**Record Actual Variables Used to Weld Test Coupon**

Company Name \_\_\_\_\_  
 Procedure Qualification Record No. \_\_\_\_\_ Date \_\_\_\_\_  
 WPS No. \_\_\_\_\_  
 Welding Process(es) \_\_\_\_\_  
 Types (Manual, Automatic, Semi-Automatic) \_\_\_\_\_

**JOINTS (QW-402)**

Groove Design of Test Coupon  
 (For combination qualifications, the deposited weld metal thickness shall be recorded for each filler metal and process used.)

**BASE METALS (QW-403)**  
 Material Spec. \_\_\_\_\_  
 Type/Grade, or UNS Number \_\_\_\_\_  
 P-No. \_\_\_\_\_ Group No. \_\_\_\_\_ to P-No. \_\_\_\_\_ Group No. \_\_\_\_\_  
 Thickness of Test Coupon \_\_\_\_\_  
 Diameter of Test Coupon \_\_\_\_\_  
 Maximum Pass Thickness \_\_\_\_\_  
 Other \_\_\_\_\_

**POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)**  
 Temperature \_\_\_\_\_  
 Time \_\_\_\_\_  
 Other \_\_\_\_\_

FILLER METALS (QW-404)	1	2
SFA Specification _____		
AWS Classification _____		
Filler Metal F-No. _____		
Weld Metal Analysis A-No. _____		
Size of Filler Metal _____		
Filler Metal Product Form _____		
Supplemental Filler Metal _____		
Electrode Flux Classification _____		
Flux Type _____		
Flux Trade Name _____		
Weld Metal Thickness _____		
Other _____		

	Percent Composition		
	Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate
Shielding _____			
Trailing _____			
Backing _____			
Other _____			

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)**  
 Current \_\_\_\_\_  
 Polarity \_\_\_\_\_  
 Amps. \_\_\_\_\_ Volts \_\_\_\_\_  
 Tungsten Electrode Size \_\_\_\_\_  
 Mode of Metal Transfer for GMAW (FCAW) \_\_\_\_\_  
 Heat Input \_\_\_\_\_  
 Other \_\_\_\_\_

**POSITION (QW-405)**  
 Position of Groove \_\_\_\_\_  
 Weld Progression (Uphill, Downhill) \_\_\_\_\_  
 Other \_\_\_\_\_

**TECHNIQUE (QW-410)**  
 Travel Speed \_\_\_\_\_  
 String or Weave Bead \_\_\_\_\_  
 Oscillation \_\_\_\_\_  
 Multipass or Single Pass (Per Side) \_\_\_\_\_  
 Single or Multiple Electrodes \_\_\_\_\_  
 Other \_\_\_\_\_

**PREHEAT (QW-406)**  
 Preheat Temperature \_\_\_\_\_  
 Interpass Temperature \_\_\_\_\_  
 Other \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**QW-483 (Back)**

**Tensile Test (QW-150)**

PQR No. \_\_\_\_\_

Specimen No.	Width	Thickness	Area	Ultimate Total Load	Ultimate Unit Stress, (psi or MPa)	Type of Failure and Location

**Guided-Bend Tests (QW-160)**

Type and Figure No.	Result

**Toughness Tests (QW-170)**

Specimen No.	Notch Location	Specimen Size	Test Temperature	Impact Values			Drop Weight Break (Y/N)
				ft-lb or J	% Shear	Mils (in.) or mm	

Comments \_\_\_\_\_

**Fillet-Weld Test (QW-180)**

Result — Satisfactory: Yes \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_ Penetration into Parent Metal: Yes \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

Macro — Results \_\_\_\_\_

**Other Tests**

Type of Test \_\_\_\_\_

Deposit Analysis \_\_\_\_\_

Other \_\_\_\_\_

Welder's Name \_\_\_\_\_ Clock No. \_\_\_\_\_ Stamp No. \_\_\_\_\_

Tests Conducted by \_\_\_\_\_ Laboratory Test No. \_\_\_\_\_

We certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in accordance with the requirements of Section IX of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code.

Manufacturer or Contractor \_\_\_\_\_

Date \_\_\_\_\_ Certified by \_\_\_\_\_

(Detail of record of tests are illustrative only and may be modified to conform to the type and number of tests required by the Code.)

ANEXO C

REQUERIDOS

TABLA QW-450 DE RANGO DE ESPESORES CALIFICADOS ENSAYOS

QW-450 SPECIMENS

QW-451 Procedure Qualification Thickness Limits and Test Specimens

QW-451.1  
GROOVE-WELD TENSION TESTS AND TRANSVERSE-BEND TESTS

Thickness <i>T</i> of Test Coupon, Welded, in. (mm)	Range of Thickness <i>T</i> of Base Metal, Qualified, in. (mm) (Notes (1) and (2))		Maximum Thickness <i>t</i> of Deposited Weld Metal, Qualified, in. (mm) {Notes (1) and (2)}	Type and Number of Tests Required (Tension and Guided-Bend Tests) [Note (2)]			
	Min.	Max.		Tension, QW-150	Side Bend, QW-160	Face Bend, QW-160	Root Bend, QW-160
Less than 1/16 (1.5)	<i>T</i>	2 <i>T</i>	2 <i>t</i>	2	---	2	2
1/16 to 3/8 (1.5 to 10), Incl.	1/16 (1.5)	2 <i>T</i>	2 <i>t</i>	2	Note (5)	2	2
Over 3/8 (10), but less than 3/4 (19)	3/16 (5)	2 <i>T</i>	2 <i>t</i>	2	Note (5)	2	2
3/4 (19) to less than 1 1/2 (38)	3/16 (5)	2 <i>T</i>	2 <i>t</i> when <i>t</i> < 1/4 (19)	2 [Note (4)]	4	---	---
3/4 (19) to less than 1 1/2 (38)	3/16 (5)	2 <i>T</i>	2 <i>T</i> when <i>t</i> ≥ 1/4 (19)	2 [Note (4)]	4	---	---
1 1/2 (38) to 6 (150), Incl.	3/16 (5)	8 (200) [Note (3)]	2 <i>t</i> when <i>t</i> < 1/4 (19)	2 [Note (4)]	4	---	---
1 1/2 (38) to 6 (150), Incl.	3/16 (5)	8 (200) [Note (3)]	8 (200) [Note (3)] when <i>t</i> ≥ 1/4 (19)	2 [Note (4)]	4	---	---
Over 6 (150)	3/16 (5)	1.33 <i>T</i>	2 <i>t</i> when <i>t</i> < 1/4 (19)	2 [Note (4)]	4	---	---
Over 6 (150)	3/16 (5)	1.33 <i>T</i>	1.33 <i>T</i> when <i>t</i> ≥ 1/4 (19)	2 [Note (4)]	4	---	---

NOTES:

- (1) The following variables further restrict the limits shown in this table when they are referenced in QW-250 for the process under consideration: QW-403.9, QW-403.10, QW-404.32, and QW-407.4. Also, QW-202.2, QW-202.3, and QW-202.4 provide exemptions that supersede the limits of this table.
- (2) For combination of welding procedures, see QW-200.4.
- (3) For the SMAW, SAW, GMAW, PAW, and GTAW welding processes only; otherwise per Note (1) or 2*T*, or 2*t*, whichever is applicable.
- (4) See QW-151.1, QW-151.2, and QW-151.3 for details on multiple specimens when coupon thicknesses are over 1 in. (25 mm).
- (5) Four side-bend tests may be substituted for the required face- and root-bend tests, when thickness *T* is 3/8 in. (10 mm) and over.

ANEXO D

TABLA QW-255 DE VARIABLES ESCENCIALES EN EL PROCESO

FCAW

QW-255  
WELDING VARIABLES PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS)  
Gas Metal-Arc Welding (GMAW and FCAW)

Paragraph		Brief of Variables	Essential	Supplementary Essential	Nonessential
QW-402 Joints	.1	∅ Groove design			X
	.4	- Backing			X
	.10	∅ Root spacing			X
	.11	± Retainers			X
QW-403 Base Metals	.5	∅ Group Number		X	
	.6	T Limits		X	
	.8	∅ T Qualified	X		
	.9	r Pass > 1/2 in. (13 mm)	X		
	.10	T limits (S. cir. arc)	X		
	.11	∅ P-No. qualified	X		
QW-404 Filler Metals	.4	∅ F-Number	X		
	.5	∅ A-Number	X		
	.6	∅ Diameter			X
	.12	∅ Classification		X	
	.23	∅ Filler metal product form	X		
	.24	± Supplemental ∅	X		
	.27	∅ Alloy elements	X		
	.30	∅ r	X		
	.32	r Limits (S. cir. arc)	X		
	.33	∅ Classification			X
QW-405 Positions	.1	+ Position			X
	.2	∅ Position		X	
	.3	∅ †: Vertical welding			X
QW-406 Preheat	.1	Decrease > 100°F (55°C)	X		
	.2	∅ Preheat maint.			X
	.3	Increase > 100°F (55°C) (IP)		X	
QW-407 PWHT	.1	∅ PWHT	X		
	.2	∅ PWHT (T & T range)		X	
	.4	T Limits	X		

## ANEXO E

### GEOMETRIA DE LOS SPECIMENES DE PRUEBA

**QW-463.1(a) PLATES — LESS THAN  $\frac{3}{4}$  in. (19 mm) THICKNESS PROCEDURE QUALIFICATION**

Discard		this piece
Reduced section		tensile specimen
Root bend		specimen
Face bend		specimen
Root bend		specimen
Face bend		specimen
Reduced section		tensile specimen
Discard		this piece



**QW-463.1(b) PLATES —  $\frac{3}{4}$  in. (19 mm) AND OVER THICKNESS AND ALTERNATE FROM  $\frac{3}{8}$  in. (10 mm) BUT LESS THAN  $\frac{3}{4}$  in. (19 mm) THICKNESS PROCEDURE QUALIFICATION**

Discard		this piece
Side bend		specimen
Reduced section		tensile specimen
Side bend		specimen
Side bend		specimen
Reduced section		tensile specimen
Side bend		specimen
Discard		this piece



**QW-463.1(c) PLATES — LONGITUDINAL PROCEDURE QUALIFICATION**

