



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

**IMPLEMENTACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA PARA ELEMENTOS DE  
CALDERAS ACUOTUBULARES DE 1500 PSI Y EQUIPOS AUXILIARES BASADOS EN EL  
CÓDIGO ASME PARA CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN, EN PLANTA  
GENERADORA LAS PALMAS II DUKE ENERGY GUATEMALA**

**Mynor Amilcar Osorio Contreras**

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, agosto de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA PARA ELEMENTOS DE  
CALDERAS ACUOTUBULARES DE 1500 PSI Y EQUIPOS AUXILIARES BASADOS EN EL  
CÓDIGO ASME PARA CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN, EN PLANTA  
GENERADORA LAS PALMAS II DUKE ENERGY GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**MYNOR AMILCAR OSORIO CONTRERAS**  
ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Pablo Rodolfo Zúñiga Ramírez
EXAMINADOR	Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Figueroa Vásquez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**IMPLEMENTACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA PARA ELEMENTOS DE CALDERAS ACUOTUBULARES DE 1500 PSI Y EQUIPOS AUXILIARES BASADOS EN EL CÓDIGO ASME PARA CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN, EN PLANTA GENERADORA LAS PALMAS II DUKE ENERGY GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 26 de marzo de 2014.



**Mynor Amilcar Osorio Contreras**



Guatemala, 09 de julio de 2014  
REF.EPS.DOC.725.07.14.

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano  
Director Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Rodríguez Serrano.

Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Mynor Amilcar Osorio Contreras** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 200815415, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **IMPLEMENTACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA PARA ELEMENTOS DE CALDERAS ACUOTUBULARES DE 1500 PSI Y EQUIPOS AUXILIARES BASADOS EN EL CÓDIGO ASME PARA CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN, EN PLANTA GENERADORA LAS PALMAS II DUKE ENERGY GUATEMALA.**

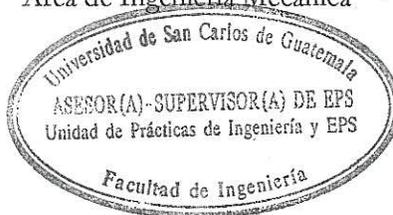
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda  
Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Mecánica



c.c. Archivo  
EESZ/ra



Guatemala, 09 de julio de 2014  
REF.EPS.D.355.07.14

Ing. Julio César Campos Paiz  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Campos Paiz:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA PARA ELEMENTOS DE CALDERAS ACUOTUBULARES DE 1500 PSI Y EQUIPOS AUXILIARES BASADOS EN EL CÓDIGO ASME PARA CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN, EN PLANTA GENERADORA LAS PALMAS II DUKE ENERGY GUATEMALA**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Mynor Amilcar Osorio Contreras** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano  
Director Unidad de EPS



SJRS/ra

Ref.E.I.Mecanica.162.2014

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Supervisor, con la aprobación del Director del Departamento de EPS, del trabajo de graduación titulado **IMPLEMENTACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA PARA ELEMENTOS DE CALDERAS ACUOTUBULARES DE 1500 PSI Y EQUIPOS AUXILIARES BASADOS EN EL CÓDIGO ASME PARA CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN, EN PLANTA GENERADORA LAS PALMAS II DUKE ENERGY GUATEMALA**, del estudiante Mynor Amilcar Osorio Contreras, procede a la autorización del mismo.

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
MA Ing. Julio César Campos Paiz  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica

MA Ing. Julio César Campos Paiz  
DIRECTOR  
Esc. Ingeniería Mecánica

Guatemala, agosto de 2014.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA PARA ELEMENTOS DE CALDERAS ACUOTUBULARES DE 1500 PSI Y EQUIPOS AUXILIARES BASADOS EN EL CÓDIGO ASME PARA CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN, EN PLANTA GENERADORA LAS PALMAS II DUKE ENERGY GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Mynor Amilcar Osorio Contreras** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, agosto de 2014

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por permitirme la vida y darme sabiduría.
<b>Mis padres</b>	Por su apoyo incondicional y consejos.
<b>Mis hermanas</b>	Por estar siempre ahí.
<b>Mis sobrinos</b>	Por las alegrías.
<b>Mis cuñados</b>	Por su atención.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San Carlos de Guatemala** Por ser mi casa de estudios superiores.

**Facultad de Ingeniería** Por los conocimientos adquiridos en estos años.

**Amigos de la Facultad** Por su compañía.

**Duke Energy Guatemala** Por permitirme realizar el EPS en sus instalaciones.



1.6.5.	Período de recuperación .....	17
1.6.6.	Conclusiones.....	17
2.	MARCO TEÓRICO: INTERPRETACIÓN DE LA SECCIÓN IX DEL CÓDIGO ASME PARA CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN.....	19
2.1.	Código ASME para Calderas y Recipientes a Presión.....	19
2.2.	Sección II: materiales .....	19
2.2.1.	Sección II Parte A: especificaciones de materiales ferrosos .....	20
2.2.1.1.	Designaciones del número SA .....	20
2.2.1.2.	Tablas de tensiones normalizadas .....	21
2.2.1.3.	Aceros y aleaciones .....	21
2.2.1.3.1.	Aceros al carbono .....	21
2.2.1.3.2.	Diagrama Hierro- Carbono .....	25
2.2.1.3.3.	Aceros aleados .....	26
2.2.1.4.	Aplicaciones para partes a presión .....	29
2.2.1.4.1.	Caldera, pared de horno, paso de convección y economizadores.....	29
2.2.1.4.2.	Supercalentadores y recalentadores .....	29
2.2.1.4.3.	Cabezales .....	30
2.2.1.4.4.	Domos.....	30
2.2.2.	Sección II Parte B: especificaciones de materiales no ferrosos .....	32
2.2.3.	Sección II Parte C: especificaciones de varillas de soldadura, electrodos y metales de aporte.....	33

	2.2.3.1.	Especificaciones AWS para materiales consumibles de soldadura..	33
2.3.		Sección IX: Calificaciones de Soldadura y Soldadura Fuerte..	34
	2.3.1.	Variables de soldadura .....	35
	2.3.2.	Tipos de variables.....	36
	2.3.2.1.	Juntas (Sección IX QW-402) .....	36
	2.3.2.2.	Metales base (Sección IX QW-403).....	39
	2.3.2.3.	Metales de aporte (Sección IX QW-404) .....	41
	2.3.2.4.	Posiciones (Sección IX QW-405).....	45
	2.3.2.5.	Pre calentamiento (Sección IX QW-406) .....	45
	2.3.2.6.	Tratamiento térmico posterior a soldadura (Sección IX QW-407) .....	47
	2.3.2.7.	Gas (Sección IX QW-408) .....	47
	2.3.2.8.	Características eléctricas (Sección IX QW-409).....	48
	2.3.2.9.	Técnica (Sección IX QW-410) .....	48
2.4.		Procesos de soldadura .....	49
	2.4.1.	Soldadura de arco metálico protegido (SMAW).....	49
	2.4.1.1.	Aplicaciones del proceso SMAW .....	49
	2.4.2.	Soldadura con arco de tungsteno y gas (GTAW) ...	51
	2.4.2.1.	Aplicaciones del proceso GTAW .....	51
2.5.		Tipo de pruebas requeridas para calificación de WPS .....	51
	2.5.1.	Ensayos mecánicos.....	53
	2.5.1.1.	Ensayo de tensión .....	53
	2.5.1.1.1.	Especímenes (Sección IX QW-151)....	53

2.5.1.1.2.	Procedimiento de prueba de tensión (Sección IX QW-152) ....	53
2.5.1.1.3.	Criterios de aceptación (Sección IX QW-153) .....	54
2.5.1.2.	Ensayo de doblez guiado .....	54
2.5.1.2.1.	Especímenes (Sección IX QW-161) ....	54
2.5.1.2.2.	Procedimiento de prueba de doblez guiado (Sección IX QW-162).....	57
2.5.1.2.3.	Criterios de aceptación (Sección IX QW-163) .....	57
2.5.2.	Ensayos mecánicos requeridos por la Sección IX del Código para calificación de WPS .....	59
2.5.3.	Orden de remoción de piezas para ensayos mecánicos .....	59
2.5.4.	Ensayos no destructivos.....	61
2.5.4.1.	Examen radiográfico (Sección IX QW-191).....	61
2.5.4.2.	Examen visual (Sección IX QW-194) ...	62
2.5.4.3.	Examen de líquidos penetrantes (Sección QW-195).....	62

3.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL: CALIFICACIÓN DE LA ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDAR (WPS) PARA EL MATERIAL BASE SA-213T22 .....	63
3.1.	Situación actual .....	63
3.2.	Alcance.....	63
3.3.	Guía para calificación de la Especificación del Procedimiento de Soldar (WPS).....	64
3.4.	Calificación de la Especificación del Procedimiento de Soldar (WPS) para el material SA-213T22.....	67
3.4.1.	Reconocimiento del trabajo .....	67
3.4.2.	Selección del código a trabajar.....	67
3.4.3.	Definición de variables.....	68
3.4.4.	Elaboración de la Especificación del Procedimiento de Soldar (WPS).....	68
3.4.5.	Desarrollo de la soldadura.....	69
3.4.6.	Inspección visual .....	69
3.4.7.	Selección y aplicación de ensayos requeridos .....	72
3.4.8.	Extender el Registro de Calificación de Procedimiento (PQR).....	73
	3.4.8.1. Análisis del examen visual.....	73
	3.4.8.2. Análisis del ensayo de tensión.....	73
	3.4.8.3. Análisis del ensayo de dobléz.....	74
	3.4.8.4. Aprobación de WPS .....	79
	3.4.8.4.1. Observaciones.....	79
3.5.	Clasificación de materiales base para calderas y equipos auxiliares .....	80
3.5.1.	Elección de la Especificación del Procedimiento de Soldar (WPS) aplicable en base al número P del material base .....	81

4.	FASE DE DOCENCIA: IMPLEMENTACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA.....	83
4.1.	Capacitación .....	83
4.1.1.	Tema de la capacitación: Interpretación de la Especificación del Procedimiento de Soldar (WPS).....	84
4.1.1.1.	Objetivos .....	84
4.1.1.2.	Contenido del tema .....	84
4.1.2.	Programación .....	85
	CONCLUSIONES.....	87
	RECOMENDACIONES .....	89
	BIBLIOGRAFÍA.....	91
	APÉNDICES.....	93
	ANEXOS.....	107

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Planta de generación de energía eléctrica a base de carbón .....	2
2.	Organigrama de Departamento de Mantenimiento Mayor .....	3
3.	Caldera tipo Stirling para carbón pulverizado.....	5
4.	Ciclo de vapor y agua.....	7
5.	Falla en tubo de pared de caldera No. 3 .....	9
6.	Esquema de eyector de arranque .....	12
7.	Eyector de arranque en planta .....	12
8.	Esquema de eyector de trabajo .....	13
9.	Eyector de trabajo en planta .....	14
10.	Diagrama T-s .....	17
11.	Diagrama Hierro-Carbono .....	25
12.	Tipos de juntas de soldadura .....	40
13.	Agrupamiento de metales base para calificación .....	42
14.	Clasificación de microalambre según la AWS.....	44
15.	Posiciones de prueba de soldadura en ranura en placa .....	46
16.	Posiciones de prueba de soldadura en ranura en tubo .....	46
17.	Posiciones de prueba de soldadura con filete en placa .....	47
18.	Técnica de soldadura .....	48
19.	Proceso de soldadura SMAW .....	50
20.	Proceso de soldadura GTAW.....	52
21.	Espécimen de sección reducida de placa para ensayo de tensión .....	55
22.	Espécimen de sección reducida de tubo para ensayo de tensión.....	56
23.	Espécimen de sección alterna de tubo para ensayo de tensión .....	56

24.	Espécimen transversal para dobleces de cara y raíz.....	58
25.	Orden de remoción de placas .....	60
26.	Orden de remoción en tubos .....	60
27.	Pasos para la calificación de la Especificación del Procedimiento de Soldar (WPS) .....	65
28.	Cupones de prueba .....	70
29.	Pieza de metal utilizada para separar los cupones de prueba.....	70
30.	Cupones de prueba en posición 2G preparados para ser punteados...	71
31.	Vista exterior del pase de raíz de soldadura .....	71
32.	Especímenes de prueba para ensayo de tensión .....	72
33.	Especímenes de prueba para ensayo de dobléz.....	72
34.	Inspección visual de pase de raíz de soldadura interna .....	73
35.	Especímenes de prueba de tensión con falla en metal base .....	74
36.	Especímenes de prueba doblados.....	75
37.	Defecto abierto en espécimen 1 doblado de raíz.....	75
38.	Defecto abierto 1 en espécimen 2 doblado de raíz.....	76
39.	Defecto abierto 2 en espécimen 2 doblado de raíz.....	76

## TABLAS

I.	Parámetros de funcionamiento de caldera No. 3 .....	4
II.	Cálculo de estimación de costo de vapor utilizado por el eyector de arranque de la turbina No. 2 .....	15
III.	Materiales de caldera y aplicaciones típicas .....	31
IV.	Variables de soldadura para proceso SMAW .....	37
V.	Variables de soldadura para proceso GTAW.....	38
VI.	Clasificación AWS para electrodos recubiertos .....	43
VII.	Interpretación de la última cifra en la clasificación AWS.....	43

VIII.	Propiedades mecánicas y químicas del microalambre según la AWS....	44
IX.	Límites de espesores y especímenes de prueba para calificación de procedimiento.....	59
X.	WPS para el material SA-213T22 (P5A-P5A) .....	77
XI.	PQR para el material SA-213T22 (P5A-P5A).....	78
XII.	Elementos de caldera.....	81
XIII.	Equipos auxiliares .....	82



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Sb</b>	Antimonio
<b>S</b>	Azufre
<b>C</b>	Carbono
<b>Cu</b>	Cobre
<b>Cr</b>	Cromo
<b>h</b>	Entalpia
<b>s</b>	Entropía
<b>Sn</b>	Estaño
<b>P</b>	Fosforo
<b>°C</b>	Grado Centígrado
<b>°F</b>	Grado Fahrenheit
<b>psi</b>	Libras por pulgada cuadrada
<b>MW</b>	Mega watts
<b>Mo</b>	Molibdeno
<b>Si</b>	Silicio



## GLOSARIO

<b>Acero</b>	Aleación de hierro que contiene entre 0,04 y 2,25 % de carbono y a la que se le añaden elementos en cantidades pequeñas como níquel, cromo, manganeso, silicio o vanadio, entre otros.
<b>Acero aleado</b>	Acero en el cual además del carbono se añaden uno o dos elementos en cantidades suficientes para modificar sustancialmente las propiedades.
<b>ASME</b>	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos.
<b>ASTM</b>	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.
<b>AWS</b>	Sociedad Americana de Soldadura.
<b>Caldera</b>	Recipiente a presión cerrado utilizado para generar vapor a una presión superior a la atmosférica.
<b>Código</b>	Código ASME para Calderas y Recipientes a Presión.
<b>Condensador</b>	Equipo utilizado para condensar un vapor o mezcla de vapores.

<b>Crossover</b>	Tubo que conecta el domo superior y el supercalentador primario.
<b>Cupón de prueba</b>	Sección de placa o tubo a soldar.
<b>Downcomers</b>	Tubos de bajada de domo inferior hacia cabezales inferiores de la caldera.
<b>Entalpia</b>	Cantidad de energía de un sistema termodinámico que este puede intercambiar con el entorno.
<b>ERW</b>	Soldadura por resistencia eléctrica.
<b>Espécimen de prueba</b>	Sección de placa o tubo maquinada para ensayos mecánicos.
<b>Eyector</b>	Dispositivo mecánico que transporta una mezcla de vapor y aire de un nivel de baja presión a otro de alta presión.
<b>Generador</b>	Dispositivo que genera electricidad mediante las turbinas movidas por el vapor.
<b>Grafitización</b>	Deformación plástica y esfuerzo residual debido al enfriamiento de la soldadura.
<b>GTAW</b>	Soldadura de arco de arco de tungsteno y gas.

<b>Polaridad</b>	Conexión del cable del electrodo y del cable de tierra. Esta conexión puede ser en polaridad directa o polaridad inversa.
<b>PWHT</b>	Tratamiento térmico posterior a soldadura.
<b>SAE</b>	Sociedad de Ingenieros Automotrices.
<b>SMAW</b>	Soldadura de arco metálico protegido.
<b><i>Superheater</i></b>	Tubo supercalentador.
<b>Turbina de vapor</b>	Dispositivo que convierte en energía mecánica la energía contenida en el vapor de agua.



## RESUMEN

El presente informe del Ejercicio Profesional Supervisado fue desarrollado en la planta Las Palmas II de Duke Energy Guatemala, durante el período comprendido del 26 de febrero al 26 de mayo de 2014.

En la Fase de Investigación se describe el proceso de generación de energía eléctrica en una planta de generación a base de carbón y los ciclos de combustible, aire, gas y agua que forman parte de este proceso. Además, como requisito del Ejercicio Profesional Supervisado en concepto de Producción más Limpia se propone el ahorro energético en concepto de vapor expulsado al ambiente, como consecuencia de no usar los eyectores de trabajo debido a mal funcionamiento. Se estimó el tiempo de retorno de inversión en concepto de compra de dos eyectores nuevos de trabajo y los beneficios que esto traería.

En el marco teórico se describen las secciones II y IX del Código ASME para Calderas y Recipientes a Presión. La Sección II presenta especificaciones de materiales utilizados en la construcción de calderas de potencia y especificaciones de materiales de aporte para los procesos de soldadura utilizados en la construcción y reparaciones de calderas de potencia. La Sección IX contiene requerimientos para la calificación de procedimientos de soldadura y calificación de soldadores.

En la Fase de Servicio Técnico Profesional se elaboró la Especificación del Procedimiento de Soldar (WPS) conforme a requerimientos de la Sección IX, del material SA-213T22 utilizado en los supercalentadores de la caldera. Se soldó el cupón de prueba y se llevaron a cabo los ensayos mecánicos de

tensión y de doblado guiado necesarios para la calificación del procedimiento de soldar. Se elaboraron procedimientos de soldadura preliminares de acuerdo a la lista elaborada a partir de los planos de la caldera de los diferentes materiales que conforman la caldera y equipos auxiliares.

En la fase de docencia se plantea un programa para implementar los procedimientos de soldadura y una capacitación para interpretación de la Especificación del Procedimiento de Soldar (WPS).

## **OBJETIVOS**

### **General**

Implementar procedimientos de soldadura calificados bajo la Sección IX del Código ASME para Calderas y Recipientes a Presión, los cuales garanticen la calidad de la junta soldada en los trabajos de construcción y reparación en elementos de caldera y equipos auxiliares de la planta Las Palmas II de Duke Energy Guatemala.

### **Específicos**

1. Crear una guía para la calificación de procedimientos de soldar conforme a requerimientos del Código ASME para Calderas y Recipientes a Presión.
2. Elaborar las Especificaciones del Procedimiento de Soldar (WPS) preliminares de acuerdo a los materiales base que conforman la caldera.
3. Utilizar la guía creada para calificar la Especificación del Procedimiento de Soldar (WPS) elegida por el Departamento de Mantenimiento Mayor y extender el respectivo Registro de Calificación de Procedimiento (PQR).
4. Implementar los procedimientos de soldadura y realizar una capacitación para el personal del Departamento de Mantenimiento Mayor para interpretar la Especificación del Procedimiento de Soldar (WPS).



## INTRODUCCIÓN

La soldadura es uno de los temas más importantes en la construcción, mantenimiento y reparación de calderas de potencia, debido a la utilización en la unión de elementos que se encuentran a altas presiones, temperaturas y que forman parte de los ciclos dentro de la caldera, por lo que se requiere que estas uniones cumplan los requerimientos de diseño para aplicaciones, en particular conforme al Código ASME para Calderas y Recipientes a Presión.

Los trabajos de mantenimiento que involucran procesos de soldadura en las calderas acuatubulares de 1 500 psi se presentan regularmente y el Departamento de Mantenimiento Mayor es el encargado de esta tarea. Se cuenta con procedimientos de soldadura calificados que fueron utilizados durante la construcción de la planta Las Palmas II, pero estos no se consultan antes de realizar cualquier procedimiento de soldadura. El no consultar el procedimiento de soldadura calificado y correcto para el trabajo en cuestión, puede ocasionar una soldadura defectuosa. Además el soldador debe estar calificado para soldar el tipo de material del elemento que necesita mantenimiento.

Mediante la elaboración de procedimientos de soldadura y la respectiva calificación durante el Ejercicio Profesional Supervisado se desea conseguir mediante la implementación que las soldaduras realizadas en la planta cumplan con la calidad necesaria para elementos en particular, como por ejemplo: tubos de supercalentador, tubos de pared de agua, cabezales, tuberías de transporte de vapor, etc.

Los procedimientos de soldadura serán calificados de acuerdo a la Sección IX del Código ASME para Calderas y Recipientes a Presión. Así también se recurrirá a la Práctica Recomendada 582 de la API para seleccionar el material de aporte conforme a la composición química del material base.

# **1. FASE DE INVESTIGACIÓN: ASPECTOS GENERALES**

## **1.1. Descripción de la empresa**

Duke Energy International es una empresa que opera en el país desde el 2001. Posee la planta generadora Las Palmas II que se encuentra ubicada en el departamento de Escuintla, en el km 61,5 antigua carretera al Puerto San José.

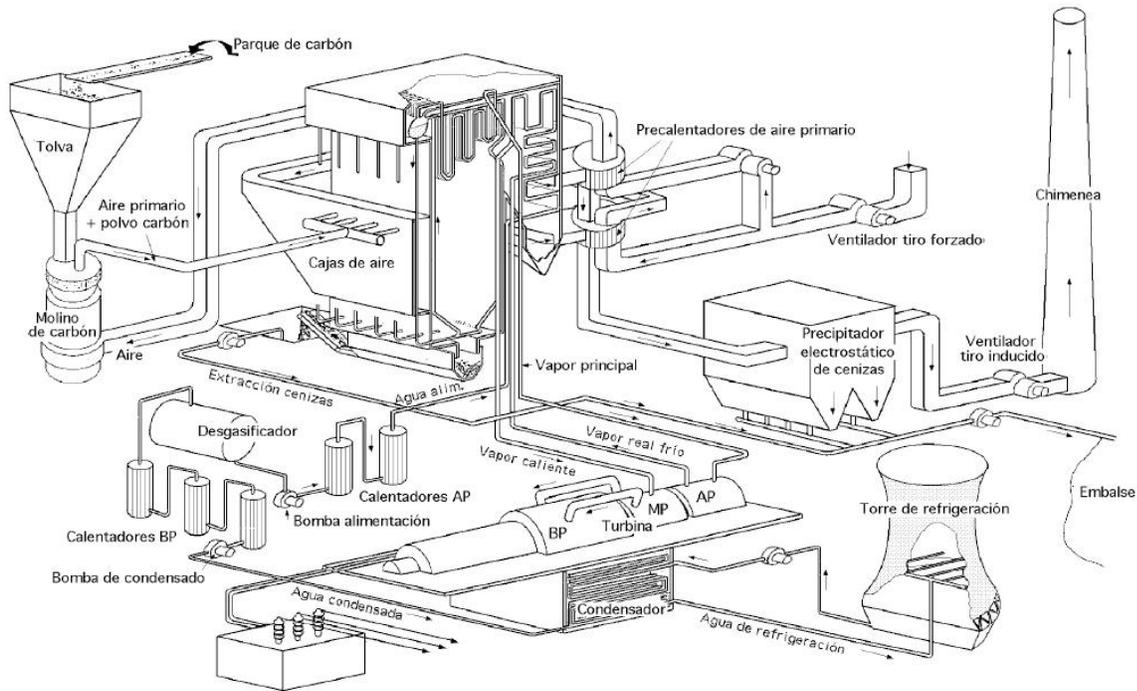
Esta planta se dedica a la generación de energía eléctrica con carbón; cuenta con 4 calderas acuotubulares de 1 500 psi cada una, 2 turbinas de vapor y 2 generadores que producen 41,5 MW cada uno. La planta tiene una capacidad para generar en total 83 MW.

## **1.2. Resumen del proceso de generación de energía eléctrica**

La generación de energía eléctrica se puede resumir de la siguiente manera:

- Almacenamiento de carbón.
- Transporte de carbón.
- Tratamiento de carbón.
- Generación de vapor en caldera acuotubular.
- Transformación de la energía mecánica del vapor en energía eléctrica en el grupo turbina de vapor y generador eléctrico.

Figura 1. **Planta de generación de energía eléctrica a base de carbón**



Fuente: <http://libros.redsauce.net/>. Consulta: 12 de mayo de 2014.

El carbón es el combustible de las calderas, este es llevado en cintas transportadoras desde el lugar de almacenamiento hacia el lugar donde es tratado para la posterior combustión. El tratamiento del carbón consiste en pulverizarlo para la combustión, para tal tarea se utilizan pulverizadores.

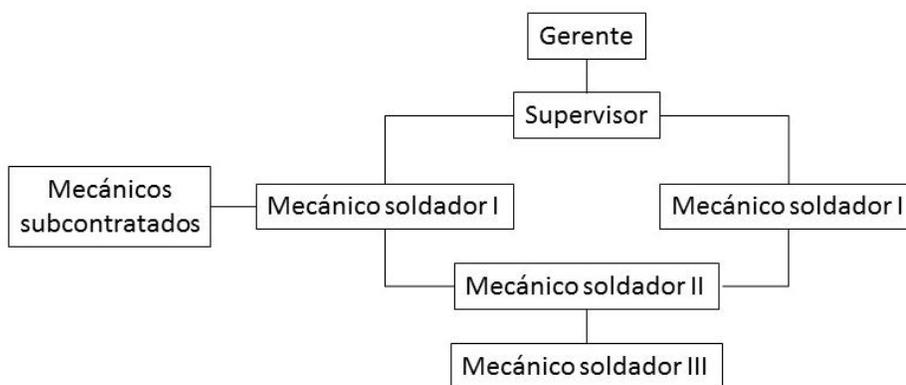
El aire primario que es suministrado por un ventilador de aire forzado, transporta el carbón pulverizado hacia los distintos quemadores de la caldera, en el cual la mezcla aire-carbón es quemada. El calor generado como resultado de la combustión es utilizado para transformar el agua contenida en los tubos de la caldera en vapor.

El vapor es separado de la humedad en un domo inferior o de lodos, después pasa por los supercalentadores para producir vapor seco (vapor sobrecalentado). Este vapor es transportado por tuberías hacia las turbinas de vapor, en esta etapa, el vapor se expande en los alabes de la turbina, generando energía mecánica. El eje de la turbina está conectado a un generador que se encarga de transformar la energía mecánica en energía eléctrica.

### 1.3. Departamento de Mantenimiento Mayor

El objetivo principal de este departamento es la reparación y mantenimiento preventivo a equipos principales en la planta como lo son: calderas, turbinas y pulverizadores. Brinda servicio de apoyo con trabajos relacionados con procesos de soldadura a diferentes departamentos de la planta tales como el Departamento Eléctrico, Departamento de Instrumentación y Departamento de Operaciones. El organigrama de este departamento se muestra en la figura 2.

Figura 2. Organigrama de Departamento de Mantenimiento Mayor



Fuente: elaboración propia.

## 1.4. Descripción de las unidades de caldera

La planta utiliza 4 calderas tipo Stirling marca Babcock & Wilcox, cada una con una capacidad para producir 195 000 lb/hr de vapor a 950 °F a 1 500 psi. La temperatura del agua de alimentación es de 360 °F.

### 1.4.1. Características de caldera

Los parámetros de funcionamiento en operación de la caldera No. 3 se muestran en la tabla I y un esquema de este tipo de caldera se ilustra en la figura 3.

Tabla I. **Parámetros de funcionamiento de caldera No. 3**

Temperatura de hogar	1 600 °F a 1 800 °F	
Temperatura de domo superior	603 °F	
Presión de domo superior	1 512 psi	
Supercalentador primario	Temperatura de entrada	593 °F
	Temperatura de salida	816 °F
Supercalentador secundario	Temperatura de entrada	726 °F
	Temperatura de salida	948 °F
Temperatura de vapor de salida	951 °F	
Presión de vapor de salida	1 481 psi	

Fuente: elaboración propia.

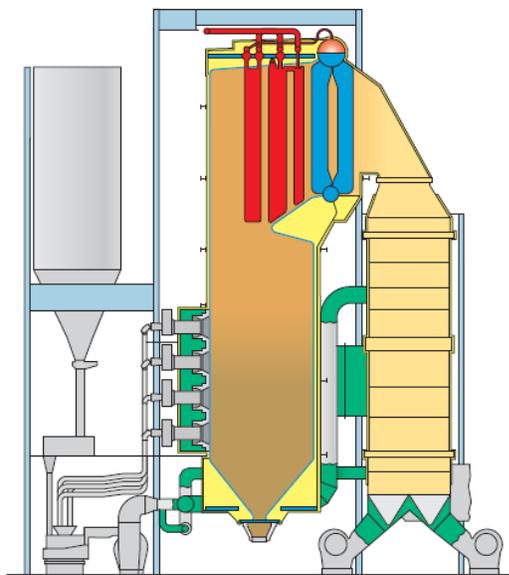
### 1.4.2. Flujo de materiales

Hay 5 flujos de material dentro de la caldera: combustible, aire secundario, aire primario, flujo de gas, y agua.

Comenzando con el combustible, el carbón es almacenado en pilas en la planta. El carbón es conducido hacia cualquiera de los silos de almacenaje de

los quemadores localizados arriba de los 2 alimentadores. Los alimentadores transportan carbón a los pulverizadores a una velocidad determinada por la carga de la caldera. En los pulverizadores, el carbón es molido a un polvo fino y secado. Después es llevado hacia los quemadores.

Figura 3. **Caldera tipo Stirling para carbón pulverizado**



Fuente: <http://www.babcock.com/library/Documents/e1013203.pdf>. Consulta: 6 de abril de 2014.

Para secar el carbón, transportarlo y quemarlo es necesario aire. Hay dos tipos de aire: aire secundario (aire de combustión) y aire primario.

El aire secundario es llevado hacia los quemadores por un ventilador de aire forzado. En el camino es enviado a través de los calentadores de aire y calentado. El aire caliente provee una mayor eficiencia de combustión del carbón. La mayoría del aire proveniente del calentador de aire es enviado hacia el compartimiento de la caja de vientos, que es una cámara de distribución grande que rodea a los quemadores.

Una porción del aire secundario es tomado del ducto de aire forzado y usado como aire primario. El aire primario es usado para transportar el carbón en los pulverizadores y para secarlo para una buena combustión. Para regular la salida del pulverizador, aire primario frío (aire atemperado) es mezclado con el aire primario caliente justamente delante del ventilador de aire primario. El aire atemperado es arrastrado de la descarga del ventilador de aire forzado antes de entrar al calentador de aire.

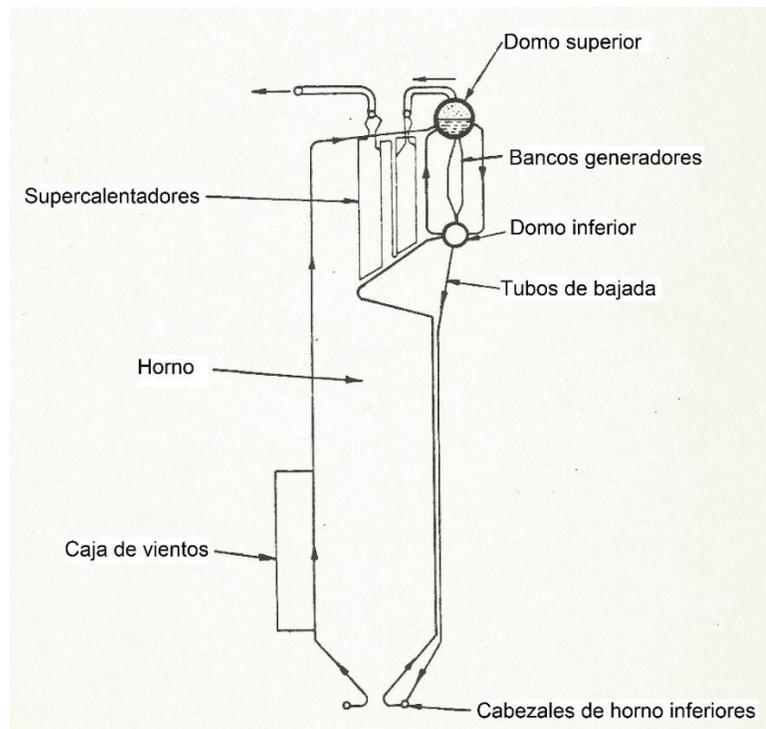
En los quemadores, el carbón es quemado y se producen los gases calientes. Este flujo de gas caliente es movido a través de la caldera por los ventiladores de aire inducidos. Conforme pasa a través de las superficies del horno, tubos supercalentadores y tubos generadores (tubos de convección), el calor del gas es transferido al metal del tubo, y a través de él al agua o vapor contenido dentro de los tubos. El flujo de gas pasa entonces a través del calentador de aire, donde el calor es transferido al aire secundario, luego pasa a través de filtros de bolsas donde las partículas de ceniza son removidas. A continuación, el flujo de gas es arrastrado hacia el ventilador inducido y expulsado por la chimenea.

### **1.4.3. Ciclo de vapor y agua**

El ciclo de vapor y agua empieza como agua de alimentación que entra al domo superior. Allí el agua de alimentación se mezcla con el agua que ha sido separada del vapor que va hacia los supercalentadores. Esta mezcla de agua, llamada agua de caldera, fluye hacia abajo por los tubos generadores (tubos de convección) al domo inferior. Aquí el agua toma una de dos rutas: hacia los tubos generadores que proveen vapor al domo superior o se dirige hacia abajo a través de los tubos de bajada que proveen de agua a los cabezales inferiores del horno. Desde los cabezales inferiores, el agua de caldera fluye hacia arriba

en los tubos de pared del horno hacia el domo superior. La mezcla de agua y vapor corre a través de los tubos de la caldera debido a la circulación natural. Esto ocurre cuando un líquido caliente es menos denso y fluye hacia arriba, por el contrario un líquido frío es más denso y fluye hacia abajo. En el domo superior el vapor es separado de la mezcla de vapor y agua, el vapor húmedo es enviado hacia los supercalentadores primarios y secundarios. En los supercalentadores, el vapor húmedo se recalienta para transformarlo en vapor seco. Para controlar la temperatura de salida de vapor se inyecta agua rociada al vapor entre el supercalentador primario y el supercalentador secundario. El vapor seco de la salida del supercalentador pasa por la turbina de vapor. El vapor es condensado y luego recircula a través del sistema.

Figura 4. **Ciclo de vapor y agua**



Fuente: Babcock & Wilcox. *Manual de entrenamiento de operador*. p. 1.

## 1.5. Fallas de tubos en calderas

El complejo sistema cerrado de los generadores de vapor involucra condiciones de trabajo muy severas.

Del lado de los gases se tienen altas temperaturas y productos corrosivos generados por la quema de combustibles fósiles (*fuel oil*, gas). Del lado del vapor, existe la posibilidad de la oxidación de los tubos de caldera por el vapor a alta temperatura y la acción corrosiva de especies químicas presentes en el agua de alimentación (hidrógeno, oxígeno, cloruros, etc.). La sílice es un elemento perjudicial para la transferencia de calor, pues actúa como un aislador en el lado del vapor. Bajo estas condiciones se pueden producir sobrecalentamientos del metal, reducción de los espesores de pared y ataques localizados (picaduras) que pueden derivar en una falla prematura del equipo.

Las zonas críticas dentro de la caldera propensas a sufrir daños son:

- Tuberías externas (alimentación de los colectores)
- Hogar de la caldera
- Supercalentador
- Tuberías de interconexión entre el domo inferior y los superiores
- Interconexiones entre los domos
- Domos
- Colectores (cabezales)

En la figura 5 se puede apreciar las características del fallo de un tubo de pared de la caldera No. 3.

Figura 5. **Falla en tubo de pared de caldera No. 3**



Fuente: taller de Departamento de Mantenimiento Mayor.

## **1.6. Producción más Limpia: propuesta de ahorro de vapor**

Como parte de la fase de investigación se propondrá el ahorro de vapor usado por el eyector de arranque de la turbina de vapor No. 2 de planta Las Palmas II. Para lograr este ahorro de vapor es necesario justificar la inversión para comprar dos eyectores de trabajo nuevos.

### **1.6.1. Planteamiento del problema**

Los equipos que realizan la tarea de extracción de aire y gases incondensables del condensador de la turbina de vapor son los eyectores. Se emplean dos tipos de eyectores en la planta: de arranque y de trabajo. La planta cuenta con dos turbinas de vapor con los respectivos condensadores.

Cada condensador de turbina está conectada a dos eyectores de trabajo de dos etapas con un condensador y un eyector de arranque. En total hay cuatro eyectores de trabajo y dos eyectores de arranque en la planta.

El eyector de arranque se utiliza cuando se inicia el funcionamiento de la turbina de vapor, y el fin es extraer rápidamente grandes cantidades de aire y gases incondensables del condensador de la turbina de vapor. El vapor utilizado por este eyector no se regresa al circuito cerrado y se evacua al ambiente.

Cuando la turbina de vapor entra en parámetros de funcionamiento normales, el eyector de arranque se pone fuera de línea y entra en funcionamiento el eyector de trabajo.

El eyector de trabajo evacua aire y gases incondensables del condensador de la turbina de vapor cuando esta se encuentra en operación normal. El vapor utilizado por el eyector de trabajo entra en un condensador que devuelve el agua al circuito cerrado de la planta.

El problema radica en la ineficiencia de los eyectores de trabajo de evacuar aire y gases incondensables del condensador de la turbina de vapor No. 2 cuando se encuentra en operación. Como consecuencia de esto se utiliza el eyector de arranque en reemplazo del eyector de trabajo, lo que significa pérdidas de vapor hacia el ambiente debido a que opera continuamente.

### **1.6.2. Objetivo**

Evaluar la posibilidad de adquirir dos eyectores de trabajo para la turbina de vapor No. 2, basado en el costo de pérdidas de vapor al ambiente como

consecuencia de usar el eyector de arranque durante un año y relacionándolo con el costo de dos eyectores de trabajo nuevos.

### **1.6.3. Eyector**

Es una bomba de vacío, generalmente movida por vapor, que no tiene partes móviles y que es capaz de alcanzar presiones absolutas de entre 1 micrón y 30 pulgadas de Hg.

#### **1.6.3.1. Principio de funcionamiento**

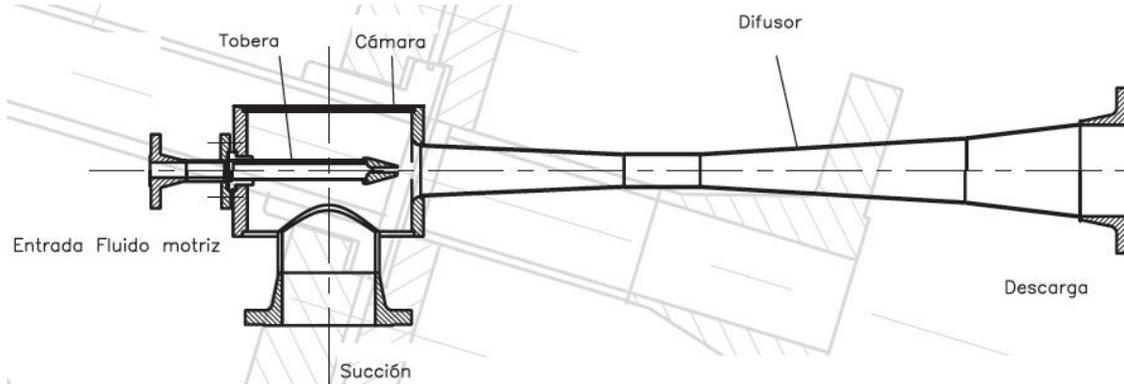
El principio de funcionamiento es el siguiente: el fluido motriz, generalmente vapor es acelerado en una tobera convergente-divergente, convirtiendo la presión en velocidad. Debido al efecto Venturi, la presión en la descarga es muy baja, produciendo una succión del fluido aspirado en la cámara de mezcla. La mezcla del fluido motriz y aspirado es introducida en el difusor, donde se transforma la velocidad en presión, obteniendo en la descarga una presión intermedia entre la del fluido motriz y el impulsado.

#### **1.6.3.2. Eyectores de arranque y de trabajo**

Los eyectores de arranque y de trabajo de la planta son marca Graham. El eyector de arranque es de una etapa sin condensador y el eyector de trabajo es de 2 etapas con condensador.

Actualmente, los eyectores funcionan con vapor a 168 psi y 550 °F y un flujo de vapor de 1 558 libras de vapor por hora. Los esquemas de los eyectores se ilustran en las figuras 6 y 8.

Figura 6. Esquema de eyector de arranque



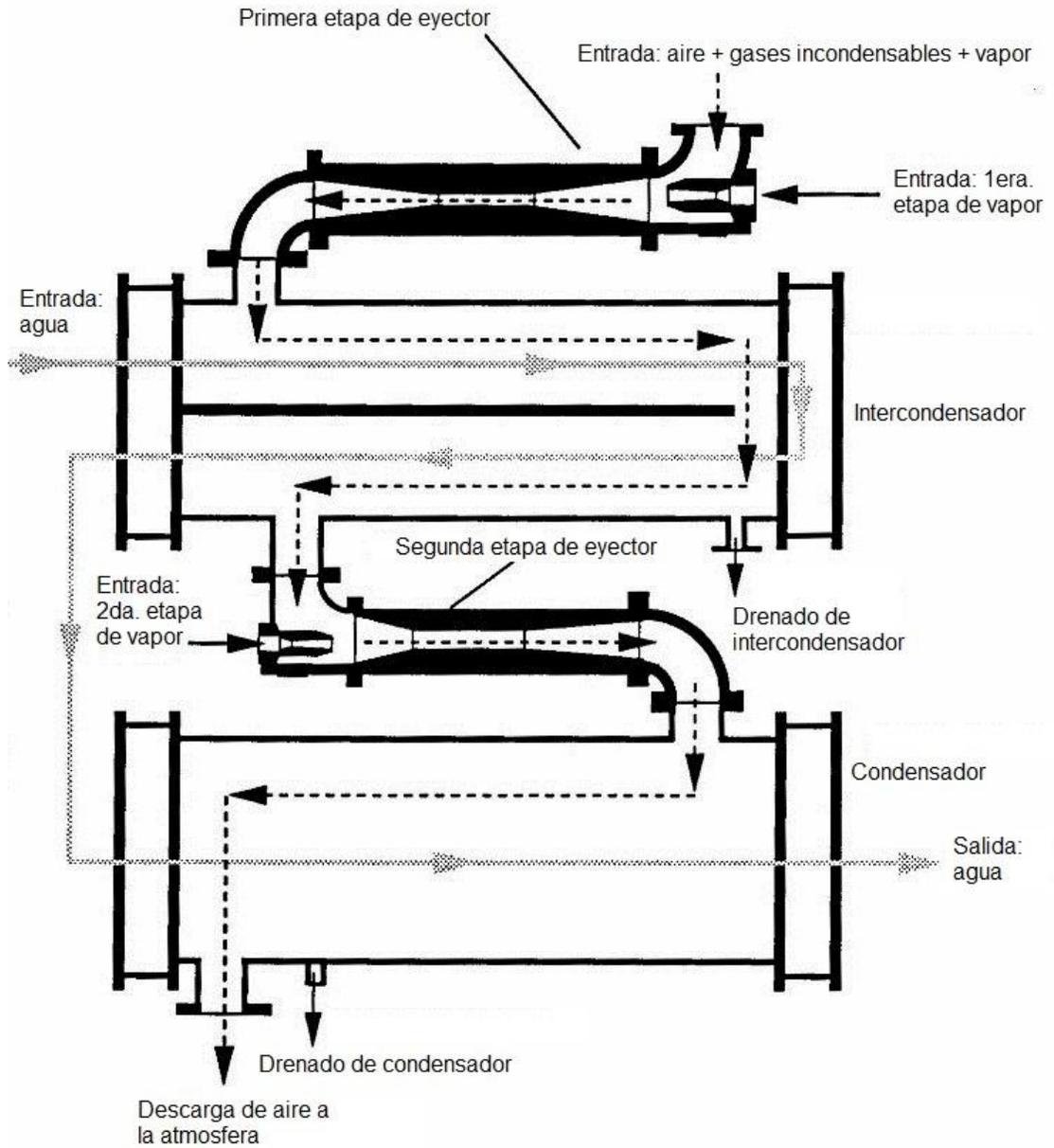
Fuente: [www.inmateinsa.com](http://www.inmateinsa.com). Consulta: 16 de mayo de 2014.

Figura 7. Eyector de arranque en planta



Fuente: planta Las Palmas II.

Figura 8. Esquema de eyector de trabajo



Fuente: <http://weh.maritime.edu/campus/tsps/manual/mainauxcond.html>.

Consulta: 17 de mayo de 2014.

Figura 9. **Eyector de trabajo en planta**



Fuente: planta Las Palmas II.

#### **1.6.4. Evaluación de costos**

Se aplicará teoría termodinámica para estimar el costo anual y producir el vapor con las condiciones requeridas para el eyector de arranque de la turbina de vapor No. 2.

##### **1.6.4.1. Costo de vapor utilizado por el eyector de arranque**

La planta opera bajo un circuito cerrado de agua y vapor, por lo tanto el vapor que utiliza el eyector de arranque y que se expulsa al ambiente debe ser repuesto al circuito en forma de agua de relleno.

Para calcular el costo de producir el vapor usado por el eyector de arranque se estimará la energía requerida para cambiar de fase agua de relleno a 40 psi y temperatura ambiente (25 °C) a vapor a 168 psi a una temperatura de 550 °F. El dato de la energía requerida se relacionara con el costo del carbón utilizado por las calderas para darnos el costo del vapor. Estos cálculos se muestran en la tabla II.

Tabla II. **Cálculo de estimación de costo de vapor utilizado por el eyector de arranque de la turbina No. 2**

Estado 1	Estado A	Estado 2
$P_1 = 40 \text{ psi}$ $T_1 = 267,22 \text{ }^\circ\text{F}$ $h_1 = 236,20 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}_m}$ $v_1 = 0,017 \frac{\text{ft}^3}{\text{lb}_m}$	$P_A = 168 \text{ psi}$ $h_A = 236,61 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}_m}$	$P_2 = 168 \text{ psi}$ $T_2 = 550 \text{ }^\circ\text{F}$ $h_2 = 1\,299,02 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}_m}$
$W_{\text{Bomba}} = v_1 \times (P_2 - P_1)$ $W_{\text{Bomba}} = 0,017 \frac{\text{ft}^3}{\text{lb}_m} \times (168 \text{ psi} - 40 \text{ psi})$ $W_{\text{Bomba}} = 2,18 \frac{\text{ft}^3 \times \text{psi}}{\text{lb}_m} \times \frac{0,19 \text{ BTU}}{1 \text{ psi} \times \text{ft}^3}$ $W_{\text{Bomba}} = 0,41 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}_m}$		
$W_{\text{Bomba}} = h_A - h_1$ $0,41 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}_m} = (h_A - 236,20) \frac{\text{BTU}}{\text{lb}_m}$ $h_A = 236,61 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}_m}$		
<p>En la figura 10, la energía "q" (línea amarilla) para evaporar el agua es:</p> $q = (h_{\text{agua saturada}} - h_A) + (h_{\text{vapor saturado}} - h_{\text{agua saturada}}) + (h_2 - h_{\text{vapor saturado}})$ $q = [(340,32 - 236,61) + (1\,196,5 - 340,32) + (1\,299,02 - 1\,196,5)] \frac{\text{BTU}}{\text{lb}_m}$ $q = 1\,082,41 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}_m}$		
<p>El flujo másico de vapor que pasa a través del eyector de arranque y expulsado hacia el ambiente es:</p> $Q_m = 1\,158 \frac{\text{lb}_m \text{ vapor}}{\text{h}}$		

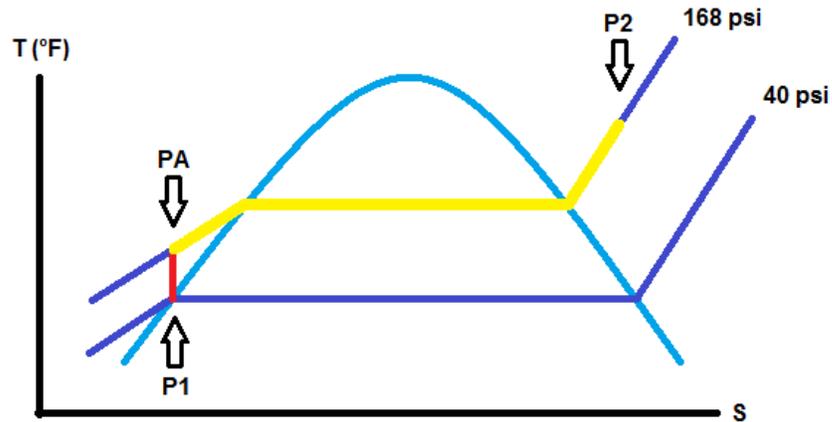
Continuación de la tabla II.

<p>La energía del flujo másico es:</p> $E = q \times Q_m$ $E = 1\,082,41 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}_m \text{ vapor}} \times 1\,158 \frac{\text{lb}_m \text{ vapor}}{\text{h}}$ $E = 1\,253\,431 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$
<p>El consumo promedio de carbón necesario para producir vapor con las condiciones necesarias es:</p> $\text{Consumo promedio de carbón} = \frac{\text{energía del flujo másico}}{\text{poder calorífico del carbón}} = \frac{1\,253\,431 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}}{14\,100 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}_m \text{ carbón}}} = 89 \frac{\text{lb}_m \text{ carbón}}{\text{h}}$
<p>El costo diario para producir este vapor con las condiciones requeridas es:</p> <p>Costo = consumo promedio de carbón × horas de operación de caldera × costo de tonelada métrica de carbón</p> $\text{Costo (carbón a \$ 130)} = 89 \frac{\text{lb}_m \text{ carbón}}{\text{h}} \times 24 \frac{\text{h}}{\text{día}} \times \frac{\$ 130}{1 \text{ Ton}_m \text{ métrica}} \times \frac{1 \text{ Ton}_m \text{ métrica}}{2\,204,62 \text{ lb}_m \text{ carbón}} = \frac{\$ 126}{\text{día}}$ $\text{Costo (carbón a \$ 140)} = 89 \frac{\text{lb}_m \text{ carbón}}{\text{h}} \times 24 \frac{\text{h}}{\text{día}} \times \frac{\$ 140}{1 \text{ Ton}_m \text{ métrica}} \times \frac{1 \text{ Ton}_m \text{ métrica}}{2\,204,62 \text{ lb}_m \text{ carbón}} = \frac{\$ 136}{\text{día}}$
<p>El costo anual para producir el vapor con las condiciones requeridas para el eyector de arranque de la turbina No. 2 es:</p> <p>Costo anual promedio = \$ 47 815</p>

Fuente: elaboración propia.

Nota: en la actualidad no existen datos amplios para determinadas presiones y temperaturas de agua subenfriada. Para simplificar los cálculos del trabajo de la bomba isentropica, el volumen específico de agua a 40 psi a temperatura ambiente se reemplazara por el volumen específico de agua a 40 psi a temperatura de saturación.

Figura 10. Diagrama T-s



Fuente: elaboración propia.

### 1.6.5. Período de recuperación

Es el tiempo en que se recupera la inversión. Es una medida simple que relaciona la inversión requerida con el costo de operación anual del eyector de arranque.

$$PA = \frac{\text{costo de 2 eyectores de trabajo de 2 etapas nuevos}}{\text{costo anual promedio de operación de 1 eyector de arranque de 1 etapa}}$$

$$PA = \frac{\$ 60\,000,00}{\$ 47\,815,00/\text{año}} = 1,25 \text{ años} = 15 \text{ meses}$$

### 1.6.6. Conclusiones

La inversión por el concepto de adquisición, de 2 eyectores de 2 etapas nuevos para la turbina de vapor No. 2 retornará a la empresa en un período de 15 meses.

Los beneficios que traería el cambio de los eyectores de trabajo son:

- Un aumento en el vacío del condensador de la turbina, significa un incremento en la eficiencia de la turbina de vapor.
- El incremento de la eficiencia de la turbina de vapor genera un aumento de generación de energía del generador.
- Recuperación del agua del condensador de los eyectores de trabajo. Esta agua tiene valor energético que vuelve al circuito cerrado para ser utilizada nuevamente en la caldera.

## **2. MARCO TEÓRICO: INTERPRETACIÓN DE LA SECCIÓN IX DEL CÓDIGO ASME PARA CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN**

### **2.1. Código ASME para Calderas y Recipientes a Presión**

La Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME por las siglas en inglés) desarrolló en 1914 el Código para Calderas y Recipientes a Presión, con el objetivo de promover la estandarización de los procesos de soldadura involucrados en la construcción de calderas y recipientes a presión. El Código especifica los materiales, reglas y recomendaciones para los procesos de soldadura. Para fines del informe, hay que enfocarse en dos secciones del Código: la Sección IX que establece los Requerimientos para la Calificación de Procedimientos de Soldadura y Soldadores y la Sección II que contiene los materiales aprobados por ASME para la construcción de calderas.

Casi todas las calderas industriales y utilitarias son diseñadas de acuerdo a la Sección I del Código, Calderas de Potencia, que enlista las especificaciones de material aprobadas para la construcción de calderas. Las especificaciones en sí están listadas en la Sección II, Parte A y Parte B. La Parte C, contiene materiales de soldadura aprobados y los valores de diseño son listados en la Parte D.

### **2.2. Sección II: materiales**

En esta sección se encuentran especificaciones detalladas de materiales, pruebas y notas. Está dividida en cuatro partes:

- Parte A: especificaciones de materiales ferrosos.
- Parte B: especificaciones de materiales no ferrosos.
- Parte C: especificaciones de varillas de soldadura, electrodos y metales de aporte.
- Parte D: propiedades.

### **2.2.1. Sección II Parte A: especificaciones de materiales ferrosos**

Las especificaciones de la Sección II son similares a las publicadas por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM por las siglas en inglés) y a las especificaciones de los materiales de soldadura publicadas por la Sociedad Americana de Soldadura (AWS por las siglas en inglés).

#### **2.2.1.1. Designaciones del número SA**

La ASTM desarrolla y publica especificaciones que se usan en la producción y prueba de materiales. Estas especificaciones cubren virtualmente todos los materiales que se emplean en la industria y el comercio, con excepción de los consumibles de soldadura, mismos que están cubiertos por especificaciones AWS. Cuando ASME adopta una especificación ASTM para cualquiera de sus aplicaciones, ya sea de manera completa y fiel o en forma revisada, le antepone una letra S al prefijo ASTM correspondiente.

Los números SA se usan en las distintas secciones del Código ASME para Calderas y Recipientes a Presión para mostrar la especificación admisible del material para diferentes componentes de una caldera o recipiente a presión. La Sección II ofrece un listado de los requerimientos específicos para materiales aprobados en la Sección I.

### **2.2.1.2. Tablas de tensiones normalizadas**

Cuando el material ha sido identificado como permitido por la sección del Código bajo la que se construye o repara la pieza o componente, las tensiones admisibles para las diferentes temperaturas pueden obtenerse de las tablas de tensiones de la Sección II, Parte D, del Código.

### **2.2.1.3. Aceros y aleaciones**

Casi todos los materiales usados en construcción de calderas y recipientes a presión son aceros y la mayoría de componentes hechos de acero al carbono.

Los aceros al carbono son usados para la mayoría de partes a presión y partes no sometidas a presión: domos, cabezales, tubos, acero estructural, ductos e insulacion.

#### **2.2.1.3.1. Aceros al carbono**

Los aceros al carbono están formados por una amplia gama de aceros que contienen hasta:

- Carbono: 1,70 % máx.
- Manganeso: 1,65 % máx.
- Silicio: 0,60 % máx.

Estos comprenden las aleaciones de hierro-carbono, con un nivel de carbono casi tan bajo como del hierro dulce (el cual prácticamente no contiene

nada de carbono) hasta el del hierro fundido (que contiene más de 1,7 % de carbono).

Los aceros al carbono que contienen los elementos de aleación en los porcentajes indicados pueden soldarse con facilidad por todos los métodos de soldadura:

- Carbono (C): entre 0,13 % y 0,20 %
- Manganeso (Mn): entre 0,40 % y 0,60 %
- Fosforo (P): no más de 0,03 %
- Silicio (Si): no más de 0,10 %
- Azufre (S): no más de 0,035 %

El cambio en los porcentajes de los cinco elementos (C, Mn, P, Si y S) o la adición de otros elementos, tienen los siguientes efectos en la soldabilidad:

El carbono es el elemento endurecedor más potente. Al aumentar el contenido de carbono, el acero se vuelve más y más templable.

Si el contenido de carbono es lo suficientemente alto (mayor de 2,5 %), el enfriamiento súbito por debajo de la temperatura de soldadura puede conducir a una zona dura y a veces frágil adyacente a la soldadura, y si el metal de la soldadura capta una cantidad considerable de carbono por mezcla, el depósito mismo de soldadura puede ser duro y frágil, con tendencia a agrietarse.

Los aceros al carbono con contenido de carbono mayor de 0,10 % y hasta de 1,2 % tienen mayor resistencia a la tensión que los aceros cuyo contenido de carbono es menor de 0,10 %. Sin embargo, estos aceros no son tan soldables como los de menor contenido de carbono. La adición de pequeñas cantidades

de otros elementos de aleación a los aceros al carbono de bajo contenido de dicho elemento sirve para incrementar su resistencia a la tensión sin reducir la soldabilidad.

El silicio se agrega principalmente para producir homogeneidad en el acero. Cuando se emplea en grandes porcentajes (en conjunto con el manganeso, que es más ligero) incrementa la resistencia a la tensión. Si el contenido de carbono es relativamente alto la adición de silicio agrava la tendencia al agrietamiento.

El manganeso aumenta también la templabilidad y la resistencia a la tensión. Un contenido mayor del mínimo de 0,60 % (con contenido de carbono relativamente alto) aumentara la tendencia al agrietamiento. Cuando es inferior al 0,30 %, puede aumentar la susceptibilidad a la porosidad interna, así como el agrietamiento. El contenido de manganeso entre 0,20 % y 0,30 %, y el de azufre arriba de 0,03 %, producen aceros que se agrietan muy fácilmente al ser soldados.

El azufre se agrega para mejorar la maquinabilidad o aptitud para permitir ser maquinado. Los aceros al carbono a los que se ha agregado azufre con este propósito se conocen como aceros de maquinado libre y tienen tendencia a ser quebradizos en caliente. Al tener esta última tendencia, el depósito de soldadura tiende a agrietarse, porque no tiene la resistencia suficiente para soportar los esfuerzos de contracción desarrollados en la soldadura al comenzar a solidificarse.

El fósforo se clasifica generalmente como una impureza en la soldadura, y debe mantenerse al nivel más bajo posible. Un contenido mayor de 0,40 % tiende a hacer frágiles las soldaduras, y reduce los valores al choque o a la

fatiga. En ocasiones es eficaz para bajar la tensión superficial del metal de soldadura fundido, lo cual dificulta el control. Además aumenta la tendencia al agrietamiento.

Al agregar otros elementos como cromo, níquel, molibdeno y vanadio, se ven afectadas otras características de la soldadura. El cambio principal radica en un aumento de templabilidad o aptitud para el endurecimiento, el cual es un resultado usual en tanto no se reduzca el contenido de carbono. Esto requiere a menudo el precalentamiento, para evitar la formación de zonas agrietadas y duras, a veces frágiles, de la soldadura.

Es importante saber que la adición de algunos de los elementos de aleación antes mencionados puede ser de gran beneficio si se hace adecuadamente. Por ejemplo, puede retenerse la buena soldabilidad en los aceros de alta resistencia reduciendo el contenido de carbono y obteniendo la resistencia de fluencia requerida mediante el uso de los elementos de aleación adecuados.

Con base en el contenido de carbono, se divide a los aceros al carbono en cuatro grupos:

- Aceros con bajo carbono: hasta 0,15 % de C.
- Aceros con contenido bajo-medio de carbono: 0,15 % a 0,23 % de C.
- Aceros con contenido medio de carbono: 0,23 % a 0,44 % de C.
- Aceros con alto carbono: más de 0,44 % de C.

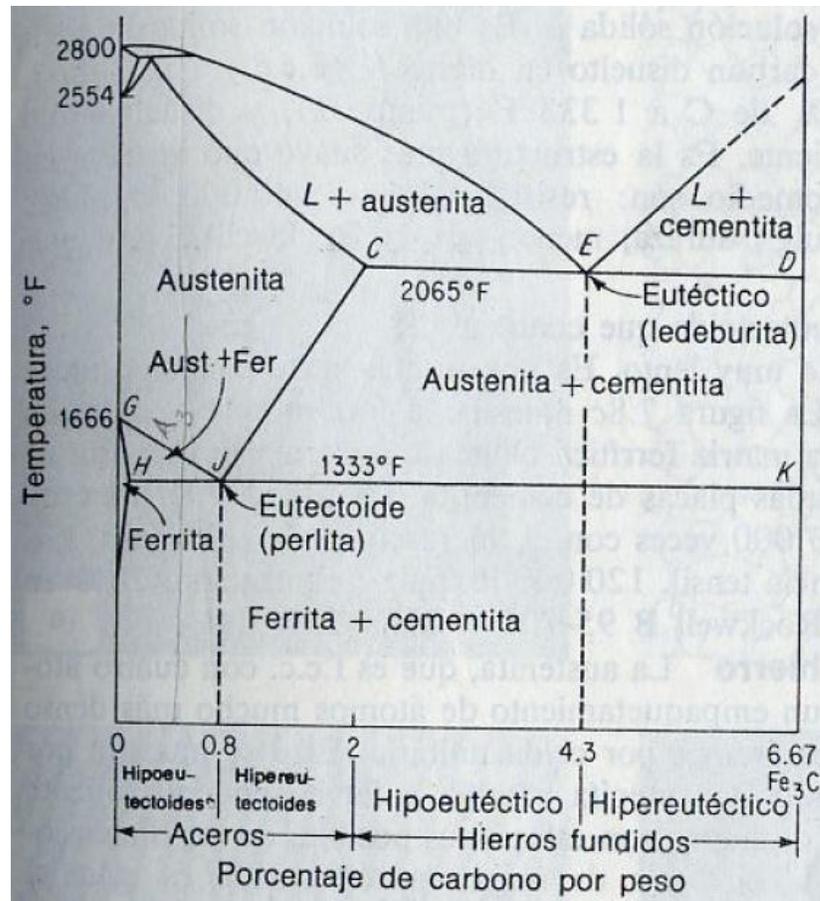
La mayoría de los aceros de estas diferentes categorías se producen de acuerdo con una especificación nacional desarrollada por la ASTM, la ASME, la

SAE y otras instituciones, en las que se incluyen los aceros al carbono para diversas aplicaciones.

### 2.2.1.3.2. Diagrama Hierro-Carbono

Este diagrama muestra las fases existentes en las aleaciones hierro-carbono enfriadas muy lentamente, a varias temperaturas y composiciones de hierro con porcentajes de carbono (hasta el 6,67 %).

Figura 11. Diagrama Hierro-Carbono



Fuente: AVNER, Sydney. *Introducción a la metalurgia física*. p. 237.

### **2.2.1.3.3. Aceros aleados**

Un acero aleado puede definirse como aquel cuyas propiedades físicas, químicas o mecánicas se deben a algún elemento diferente del carbono.

Aunque todos los aceros al carbono contienen moderadas cantidades de manganeso y silicio, no se consideran aleados, porque la función principal del manganeso y del silicio es actuar como desoxidadores. Ellos se combinan con el oxígeno y con el azufre, para reducir el efecto nocivo de dichos elementos.

Los elementos de aleación se añaden a los aceros para muchos propósitos, entre los cuales los más importantes son:

- Aumentar la templabilidad.
- Mejorar la resistencia a temperaturas comunes.
- Mejorar las propiedades mecánicas tanto a altas como a bajas temperaturas.
- Mejorar la tenacidad a cualquier dureza o resistencia mínima.
- Aumentar la resistencia al desgaste.
- Aumentar la resistencia a la corrosión.
- Mejorar las propiedades magnéticas.

Los aceros al cromo-molibdeno (Cr-Mo) son utilizados ampliamente en elementos de caldera. El cromo es añadido para mejorar la resistencia a la oxidación y corrosión en esos aceros. Por otra parte, el molibdeno es añadido para incrementar la resistencia del acero a altas temperaturas. Pequeñas adiciones de titanio, vanadio, niobio y nitrógeno son usados también para incrementar las propiedades del acero a altas temperaturas.

El contenido de cromo en esos aceros se encuentra entre 0,5 y 9 % y el contenido de molibdeno entre 0,5 y 1 %. El contenido de carbono en estos aceros se mantiene generalmente debajo de 0,15 %.

Los aceros microaleados son aceros al carbono con pequeñas cantidades (típicamente menores que 1 %) de elementos aleantes que han sido agregados para conseguir mayor resistencia. Se añaden comúnmente vanadio y boro. Dichos aceros son raramente usados en aplicaciones donde se requieran partes a presión, pero están teniendo aceptación como aceros estructurales.

Los elementos residuales están presentes en los aceros en cantidades pequeñas y no son elementos que son deliberadamente añadidos como aleantes durante el proceso de fabricación del acero. La fuente es el hierro del horno donde el acero es fabricado. El cobre (Cu), níquel (Ni), cromo (Cr), vanadio (V) y boro (B) son típicos ejemplos de residuales normalmente encontrados en los aceros al carbono. El azufre (S) y fósforo (P), también considerados como elementos residuales, usualmente son reportados en los análisis químicos de los aceros, y las concentraciones son limitadas por especificaciones debido a que degradan la ductilidad. Los elementos residuales azufre (S), fósforo (P), antimonio (Sb) y estaño (Sn) son también importantes contribuidores de fragilidad de los aceros.

Los aceros de baja y mediana aleación son la siguiente categoría más importante de los aceros usados en las calderas. Estos son caracterizados por un contenido de Cr menor que 11,5 % y en menor grado otros elementos. Las combinaciones de aleaciones más comunes en este grupo encontrados en las calderas son: C-1/2Mo, 1/2Cr-1/2Mo, 1Cr-1/2Mo, 1-1/4Cr-1/2Mo-Si, 2-1/4Cr-1Mo y 9Cr-1Mo-V. Otras aleaciones menos comunes en este grupo son: 3Cr-1Mo, 5Cr-1/2Mo y 9Cr-1Mo.

Debido a la excepcional mejora de resistencia que ofrece el Mo en el acero al carbono, no es de sorprenderse que el acero C-1/2Mo tenga muchas aplicaciones para partes a presión, particularmente en el rango de temperatura de 700 a 975 °F (371 a 524 °C). Los aceros C-Mo, sin embargo, son particularmente propensos a grafitización a temperaturas arriba de 875 °F (468 °C). Dentro de la caldera, donde las fallas por grafitización no representan un peligro, el acero C-Mo tiene muchos usos arriba de 975 °F (524 °C), el límite de oxidación.

La resistencia a la oxidación de los aceros de baja aleación se incrementa con el contenido de Cr. La primera aleación común en la familia Cr-Mo es 1/2Cr-1/2Mo. Este acero fue desarrollado en respuesta a las fallas por grafitización en tuberías de C-Mo. Fue descubierto que la adición de cerca de 0,25 % de Cr era suficiente para hacer a la aleación inmune a la grafitización. Es más, 1/2Cr-1/2Mo tiene esencialmente la misma resistencia que el C-Mo y por lo tanto lo ha desplazado en muchas aplicaciones. Debido a la aplicación de 1/2Cr-1/2Mo es virtualmente único para la industria de las calderas, no es fácil conseguirlo en ciertos tamaños y formas de producto.

La siguiente aleación en esta serie son los casi idénticos 1Cr-1/2Mo y 1-1/4Cr-1/2Mo-Si; el contenido de silicio da un poco más de resistencia a la oxidación. Sin embargo, el 1Cr-1/2Mo es más fuerte en un rango de temperaturas de 800 a 1 050 °F (427 a 566 °C). Como resultado, esta aleación está desplazando rápidamente a la aleación 1-1/4Cr-1/2Mo-Si en casi todas las aplicaciones en este régimen de temperatura.

En ausencia de otro elemento de aleación, la composición 2-1/4Cr-1Mo es la aleación óptima para resistencia a alta temperatura. Donde la necesidad de resistencia a temperaturas entre 975 y 1 115 °F (524 y 602 °C) es el

requerimiento de diseño dominante, por eso el 2-1/4Cr-1Mo es la aleación preferida por la industria. Las aleaciones de 3Cr hasta 9Cr son menos fuertes, pero tienen aplicaciones donde el aumento a la resistencia a la oxidación es deseada y una baja resistencia puede ser tolerada.

#### **2.2.1.4. Aplicaciones para partes a presión**

La tabla III muestra las especificaciones de materiales para partes a presión usadas comúnmente en calderas de combustible fósil hoy en día, la composición química nominal, máximas temperaturas de uso recomendadas y las aplicaciones.

##### **2.2.1.4.1. Caldera, pared de horno, paso de convección y economizadores**

Generalmente están hechos de aceros al carbono, C-Mo y 1/2Cr-1/2Mo, ya sea tubo sin costura o tubo soldado eléctricamente por resistencia (ERW). Carbono de bajo grado y aleación 1/2Cr-1/2Mo son usados en regiones de alto calor esto para evitar el riesgo de grafitización. Aceros al carbono de alto grado y C-Mo son usados en las paredes del hogar, paso de convección y economizadores.

##### **2.2.1.4.2. Supercalentadores y recalentadores**

Las más altas temperaturas del metal de las partes sometidas a presión en la unidad de generación de vapor ocurren en el supercalentador y recalentador.

Estos tubos son hechos de material con propiedades resistentes a temperatura y resistencia a la oxidación. El acero al carbono es un material apropiado y económico para un rango de temperatura del metal de 850 a 950 °F (454 a 510 °C), dependiendo de la presión. Arriba de este rango, las aleaciones y aceros inoxidable son requeridos debido a la baja resistencia a la oxidación y esfuerzos permisibles bajos del acero al carbono. Usualmente dos tipos o más aleaciones son usados en la construcción de un supercalentador. Los aceros al carbono y el acero C-Mo de baja aleación, son usados en las secciones de entrada, mientras los aceros Cr-Mo de baja e intermedia aleación son usados en las secciones de salida, donde la temperatura del vapor y el metal es alta.

#### **2.2.1.4.3. Cabezales**

Como esos componentes no están usualmente en el flujo de vapor, el mayor factor de diseño, más que la resistencia a la temperatura es la resistencia a la oxidación. Aceros al carbono no son usados arriba de 800 °F (427 °C) afuera de las cercanías de la caldera, y la aleación C-Mo está limitado a aplicaciones de tamaños pequeños, menos de 10,75" (273 mm) de diámetro exterior y debajo de 875 °F (468 °C) para evitar la grafitización.

#### **2.2.1.4.4. Domos**

Placas de acero al carbono es el material primario usado en domos. El acero SA-299 con una resistencia a la tensión de 75 000 psi (517,1 MPa), es usado para domos de sección pesada, para aquellos de espesor de más de 4" (101,6 mm). El acero SA-516 Gr 70 con una resistencia a la tensión de 70 000 psi (482,7 MPa), es usado para aplicaciones de más de 1,5" (38,1 mm) y por debajo de 4". El acero SA-515 Gr 70 es usado para espesores pequeños.

Tabla III. **Materiales de caldera y aplicaciones típicas**

Materiales de caldera y aplicaciones típicas							
Especificación	Composición química nominal	Forma del producto	Paredes de caldera	Supercalentador Recalentador Economizador	Cabezales < 10,75"OD	Domos	Máxima temperatura de uso recomendada, °F
SA-178A	C	Tubo ERW	x	x			950
SA-192	C	Tubo sin costura	x	x			950
SA-178C	C	Tubo ERW		x			950
SA-210A1	C	Tubo sin costura	x	x			950
SA-106B	C	Tubo sin costura			x		950
SA-178D	C	Tubo ERW	x	x			950
SA-210C	C	Tubo sin costura		x			950
SA-106C	C	Tubo sin costura			x		950
SA-216WCB	C	Fundición		x	x		950
SA-105	C	Forja		x	x		950
SA-181-70	C	Forja		x	x		950
SA-266Cl2	C	Forja			x		800
SA-516-70	C	Placa			x	x	800
SA-266Cl3	C	Forja			x		800
SA-299	C	Placa				x	800
SA-250T1a	C-Mo	Tubo ERW		x			975
SA-209T1a	C-Mo	Tubo sin costura		x			975
SA-250T2	1/2Cr-1/2Mo	Tubo ERW		x	x		1 025
SA-213T2	1/2Cr-1/2Mo	Tubo sin costura	x	x			1 025
SA-250T12	1Cr-1/2Mo	Tubo ERW		x			1 050
SA-213T12	1Cr-1/2Mo	Tubo sin costura	x	x			1 050
SA-335P12	1/2Cr-1/2Mo	Tubo sin costura			x		1 050
SA-250T11	1-1/4Cr-1/2Mo-Si	Tubo ERW		x			1 050
SA-213T11	1-1/4Cr-1/2Mo-Si	Tubo sin costura	x	x			1 050
SA-335P11	1-1/4Cr-1/2Mo-Si	Tubo sin costura			x		1 050
SA-217WC6	1-1/4Cr-1/2Mo	Fundición		x	x		1 100
SA-250T22	2-1/4Cr-1Mo	Tubo ERW		x			1 115

Continuación de la tabla III.

SA-213T22	2-1/4Cr-1Mo	Tubo sin costura		x			1 115
SA-213T23	2-1/4Cr-W-V	Tubo sin costura	x	x			1 115
SA-335P22	2-1/4Cr-1Mo	Tubo sin costura			x		1 100
SA-217WC9	2-1/4Cr-1Mo	Fundición		x	x		1 115
SA-182F22Cl1	2-1/4Cr-1Mo	Forja		x	x		1 115
SA-336F22Cl1	2-1/4Cr-1Mo	Forja			x		1 100
SA-213T91	9Cr-1Mo-V	Tubo sin costura		x			1 150
SA-335P91	9Cr-1Mo-V	Tubo sin costura			x		1 150
SA-217C12A	9Cr-1Mo-V	Fundición		x	x		1 200
SA-182F91	9Cr-1Mo-V	Forja		x			1 150
SA-336F91	9Cr-1Mo-V	Forja			x		1 150
SA-213T92	9Cr-2W	Tubo sin costura		x	x		1 200
SA-213TP304H	18Cr-8Ni	Tubo sin costura		x			1 400
SA-213TP347H	18Cr-10Ni-Cb	Tubo sin costura		x			1 400
SA-213TP310H	25Cr-20Ni	Tubo sin costura		x			1 500
SB-407-800H	Ni-Cr-Fe	Tubo sin costura		x			1 500
SB-423-825	Ni-Fe-Cr-Mo-Cu	Tubo sin costura		x			1 000

Fuente: Babcock & Wilcox. *Steam: its generation and use*. Capítulo 7 p. 22.

### 2.2.2. Sección II Parte B: especificaciones de materiales no ferrosos

Los materiales no ferrosos poseen algún elemento diferente del hierro como constituyente principal.

Según Horwitz los metales no ferrosos que con más frecuencia se soldan son el aluminio y aleaciones, el cobre y aleaciones, el níquel y aleaciones con alto contenido de níquel, el magnesio y aleaciones, el plomo, el zinc, el titanio y aleaciones y los metales preciosos reactivos y refractarios.

### **2.2.3. Sección II Parte C: especificaciones de varillas de soldadura, electrodos y metales de aporte**

Esta parte especifica los materiales aprobados para las tareas de construcción, modificación o reparación que pueden ser utilizados bajo el Código. En general, contiene la siguiente información:

- La forma de especificar los electrodos y demás materiales de soldadura.
- Explicación de la designación AWS para los electrodos y materiales de soldadura.
- Posiciones de uso recomendada para cada electrodo.
- Tipo de corriente y polaridad.
- Temperaturas de almacenamiento recomendadas para los materiales de soldadura.
- Los procesos en los que pueden emplearse los diferentes electrodos.
- Información de cómo adquirir los materiales de soldadura.

#### **2.2.3.1. Especificaciones AWS para materiales consumibles de soldadura**

La AWS publica las especificaciones para varillas de soldadura, electrodos y materiales de aporte.

Estas especificaciones cubren la mayor parte de los materiales consumibles empleados en proceso de soldadura y soldadura fuerte, e incluyen requisitos obligatorios y opcionales.

Los requisitos obligatorios cubren aspectos tales como composición química y propiedades mecánicas, fabricación, pruebas, marcado e

identificación y empaque de los productos. Los requisitos opcionales incluidos en apéndices se proporcionan como fuente de información sobre la clasificación descripción o uso previsto de los metales de aporte cubiertos.

La designación alfanumérica de la AWS para especificaciones de materiales de aporte consta de una letra A seguida de 5, un punto y uno o dos dígitos adicionales. Por ejemplo la AWS A5.1, especificación para electrodos de acero al carbono para soldadura por arco metálico protegido. La mayor parte de las especificaciones AWS para metales de aporte han sido aprobadas como normas nacionales norteamericanas por el ANSI.

Cuando ASME adopta estas especificaciones, ya sea de manera completa y fiel o con revisiones, le antepone las letras SF a la designación AWS, así, la especificación ASME SFA 5.1 es similar, si no idéntica a la AWS A5.1 (de la misma edición).

### **2.3. Sección IX: Calificaciones de Soldadura y Soldadura Fuerte**

Según el Código, la Sección IX se relaciona con la calificación de soldadores y operarios de soldadura, soldadores y operarios de soldadura fuerte, y los procedimientos que ellos emplean al soldar de acuerdo con el Código de Calderas y Recipientes Sujetos a Presión de la ASME y con el Código para Tubería de Presión ASME B31. Está dividido en dos partes: la Parte QW da requerimientos para soldar y la Parte QB contiene requerimientos para soldadura fuerte.

El propósito de la Especificación del Procedimiento de Soldar (WPS) y del Registro de Calificación del Procedimiento (PQR) es determinar que el conjunto

de partes soldadas propuesto para construcción sea capaz de proveer las propiedades requeridas para la aplicación destinada.

Se presupone que el soldador o el operario de soldadura que efectúa la prueba de calificación del procedimiento de soldar es un trabajador experimentado. Esto es, la prueba de calificación del procedimiento de soldar establece las propiedades del conjunto soldado, no la experiencia del soldador o del operario de soldadura. Además de este requerimiento general, se requieren consideraciones especiales para tenacidad de muesca por parte de otras secciones del Código.

Brevemente, una WPS relaciona las variables, tanto esenciales como no esenciales, y los órdenes aceptables de estas variables. La WPS se destina a proveer dirección para el soldador/operario de soldadura. El PQR relaciona lo que se usó al calificar la WPS y los resultados de las pruebas.

### **2.3.1. Variables de soldadura**

Las variables de soldadura son las condiciones que gobiernan un proceso de soldadura.

Estas variables se dividen en: esenciales, esenciales suplementarias y no esenciales.

- Las variables esenciales son aquellas en las cuales un cambio, que se describe en las variables específicas es considerado que afecta las propiedades mecánicas del conjunto soldado y requerirá recalificación de la WPS.

- Las variables esenciales suplementarias se requieren para metales para los cuales otras secciones especifican pruebas de tenacidad de muesca y son además las variables esenciales para cada proceso de soldar.
- Las variables no esenciales son aquellas en las cuales un cambio, que se describe en las variables específicas, puede ser hecho en la WPS sin recalificación.

Es de suma importancia la correcta selección de variables que permitan realizar un procedimiento de soldadura que garantice la calidad de la junta y que cumpla con los requerimientos para la cual fue diseñada.

### **2.3.2. Tipos de variables**

Las variables para la Especificación del Procedimiento de Soldar (WPS) para el proceso Arco Metálico Protegido (SMAW) están listadas en QW-253 de la Sección IX del Código (ver tabla IV) y las variables para el proceso Arco de Tungsteno y Gas (GTAW) se encuentran en QW-256 de la Sección IX del Código (ver tabla V). Las variables de soldadura se detallan en el anexo 1 y 2.

#### **2.3.2.1. Juntas (Sección IX QW-402)**

La junta es la disposición geométrica de los materiales base a unir, y esta se diseña de acuerdo al servicio al que se someterá. Los detalles de la junta se deben especificar en el WPS, conteniendo información como el espesor del material base, el ángulo de bisel, abertura de raíz y medida del talón. En la figura 12 se muestran los diferentes tipos de junta utilizados en soldadura.

Tabla IV. Variables de soldadura para proceso SMAW

Párrafo	Resumen de Variables	Esenciales	Esenciales Suplementarias	No Esenciales
QW-402 Juntas	.1 $\phi$ Diseño de ranura			X
	.4 – Respaldo			X
	.10 $\phi$ Espaciamiento de raíz			X
	.11 $\pm$ Retenes			X
QW-403 Metales Base	.5 $\phi$ Número de Grupo		X	
	.6 $T$ Límites impacto		X	
	.7 Límites $T/t > 8$ pulg.	X		
	.8 $\phi$ $T$ Calificado	X		
	.9 Paso $t > 1/2$ pulg.	X		
	.11 $\phi$ No. P calificado	X		
	.13 $\phi$ No. P 5/9/10	X		
QW-404 Metales de Aporte	.4 $\phi$ Número F	X		
	.5 $\phi$ Número A	X		
	.6 $\phi$ Diámetro			X
	.7 $\phi$ Diám. $> 1/4$ pulg.		X	
	.12 $\phi$ Clase AWS		X	
	.30 $\phi$ $t$	X		
QW-405 Posiciones	.33 $\phi$ Clase AWS			X
	.1 + Posición			X
	.2 $\phi$ Posición		X	
QW-406 Pre calentamiento	.3 $\phi$ $\uparrow\downarrow$ Soldadura vertical			X
	.1 Disminución $> 100^\circ$ F	X		
	.2 $\phi$ Mant. precalent.			X
QW-407 PWHT	.3 Aumento $> 100^\circ$ F		X	
	.1 $\phi$ PWHT	X		
	.2 $\phi$ PWHT (T y serie T)		X	
QW-409 Características Eléctricas	.4 $T$ Límites	X		
	.1 $>$ Gasto de calor		X	
	.4 $\phi$ Corriente o polaridad		X	X
	.8 $\phi$ Serie I y E			X
QW-410 Técnica	.1 $\phi$ Cordón/vaivén			X
	.5 $\phi$ Método de limpieza			X
	.6 $\phi$ Método de cincelado posterior			X
	.25 $\phi$ Manual o automático			X
	.26 $\pm$ Martillado			

Leyenda:

+ Adición      > Aumento/mayor que       $\uparrow$  Hacia arriba       $\leftarrow$  Directo       $\phi$  Cambio  
 - Eliminación      < Disminución/menos que       $\downarrow$  Hacia abajo       $\rightarrow$  A la inversa

Fuente: ASME 1998. Sección IX QW-253. p. 22.

Tabla V. Variables de soldadura para proceso GTAW

Párrafo	Resumen de Variables	Esenciales	Esenciales Suplementarias	No Esenciales
QW-402 Juntas	.1 $\phi$ Diseño de ranura			X
	.5 + Respaldo			X
	.10 $\phi$ Espaciamiento de raíz			X
	.11 $\pm$ Retenes			X
QW-403 Metales	.5 $\phi$ Número de Grupo		X	
	.6 Límites de $T$		X	
	.7 Límites $T/t > 8$ pulg.	X		
	.8 $\phi$ $T$ Calificado	X		
	.11 $\phi$ No. P calificado	X		
	.13 $\phi$ No. P- 5/9/10	X		
QW-404 Metales de Aporte	.3 $\phi$ Tamaño			X
	.4 $\phi$ Número F	X		
	.5 $\phi$ Número A	X		
	.12 $\phi$ Clasific. AWS		X	
	.14 $\pm$ Aporte	X		
	.22 $\pm$ Met. inserto consum.			X
	.23 $\phi$ Forma de producto de metal de aporte	X		
	.30 $\phi$ $t$	X		
.33 $\phi$ Clasif. AWS			X	
QW-405 Posiciones	.1 + Posición			X
	.2 $\phi$ Posición		X	
	.3 $\phi$ $\uparrow\downarrow$ Soldadura vertical			X
QW-406 Precalentamiento	.1 Disminución $> 100^\circ$ F	X		
	.3 Aumento $> 100^\circ$ F (EP)		X	
QW-407 PWHT	.1 $\phi$ PWHT	X		
	.2 $\phi$ PWHT (T y serie de T)		X	
	.4 Límites de $T$	X		
QW-408 Gas	.1 $\pm$ Arrastre o $\phi$ comp.			X
	.2 $\phi$ Simple, mezcla, o %	X		
	.3 $\phi$ Gasto			X
	.5 $\pm$ o $\phi$ Flujo de Respaldo			X
	.9 - Respaldo o $\phi$ comp.	X		
.10 $\phi$ Protección o arrastre	X			

Continuación de la tabla V.

Párrafo		Resumen de Variables	Esenciales	Esenciales Suplementarias	No Esenciales
QW-409 Características Eléctricas	.1	> Gasto de calor		X	
	.3	± I de pulsación			X
	.4	φ Corriente o polaridad		X	
	.8	φ Serie I y E			X
	.12	φ Electrodo de Tungsteno			X
QW-410 Técnica	.1	φ Cordón/vaivén			X
	.3	φ Tamaño orificio, taza o boquilla			X
	.5	φ Método limpieza			X
	.6	φ Método cincel posterior			X
	.7	φ Oscilación			X
	.9	φ Multi- a paso simple/lado		X	X
	.10	φ Simple a multielectrodos		X	X
	.11	φ Cámara cerrada afuera de	X		
	.15	φ Espaciamiento electrodos			X
	.25	φ Manual o automático			X
.26	± Martillado			X	

Leyenda:

+ Adición                    > Aumento/mayor que                    ↑ Hacia arriba                    ← Directo                    φ Cambio  
 - Eliminación                < Disminución/menos que                ↓ Hacia abajo                    → A la inversa

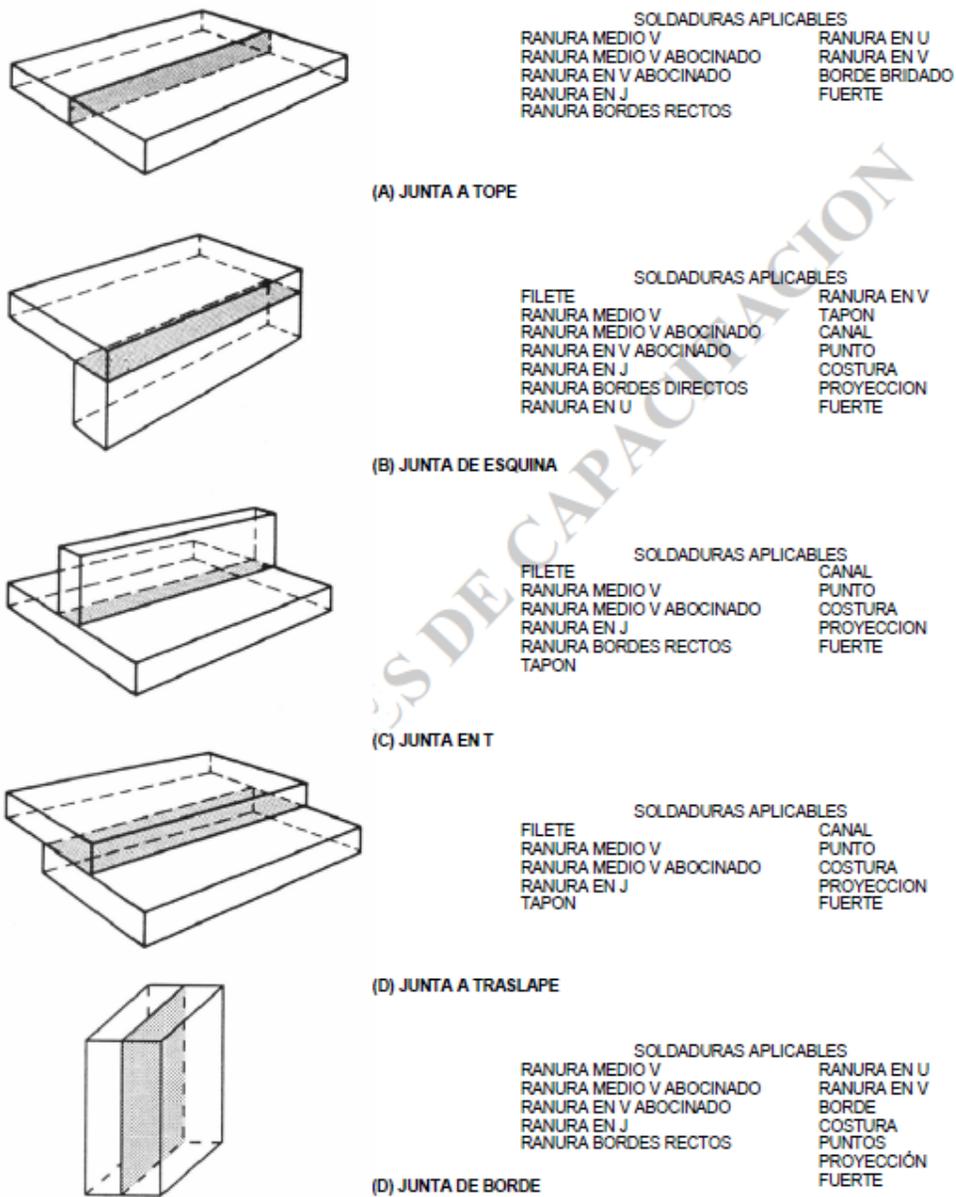
Fuente: ASME 1998. *Sección IX QW-256*. p. 31.

### 2.3.2.2. Metales base (Sección IX QW-403)

Los metales base son los materiales a unir por medio de un proceso de soldadura. Conocer la composición química del material base es la clave para seleccionar el material de aporte que se utilizará en el proceso de soldadura. El Código designa los metales mediante números P. Los números P son asignados a los metales base con el propósito de reducir el número de procedimientos de soldadura requeridos. Estas asignaciones se basan en características similares del metal base, tales como la composición química,

soldabilidad y propiedades mecánicas. La figura 13 muestra el agrupamiento de metales base para calificación.

Figura 12. Tipos de juntas de soldadura



Fuente: AWS A3.0:2001. Norma de términos y definiciones de soldadura. p. 77.

Cuando las juntas se hacen entre dos metales base que tienen diferentes números P, se hará una calificación de procedimiento para la combinación aplicable de número P, aún cuando se hayan hecho pruebas de calificación para cada uno de los dos metales base soldado a sí mismo.

### **2.3.2.3. Metales de aporte (Sección IX QW-404)**

Los materiales de aporte son propiamente los electrodos, varillas, alambres, flujos, etc. que constituyen el metal de aportación en la soldadura. Estos se encuentran especificados en la Sección II Parte C del Código. El siguiente agrupamiento de números F de electrodos y de varillas de soldar de QW-432 se basa esencialmente en las características de disponibilidad, fundamentalmente lo cual determina la capacidad de los soldadores para hacer soldaduras satisfactorias con un metal de aporte dado.

- QW-432.1: acero y aleaciones de acero
- QW-432.2: aluminio y aleaciones de base de aluminio
- QW-432.3: cobre y aleaciones de base de cobre
- QW-432.4: níquel y aleaciones de base de níquel
- QW-432.5: titanio y aleaciones de titanio
- QW-432.6: circonio y aleaciones de circonio
- QW-432.7: sobrecapa de metal de soldadura para revestimiento duro

Para una información sencilla y a la vez concreta de las propiedades de cada electrodo, la AWS y la ASME, han establecido la nomenclatura usada en los electrodos, cuyo significado se detallan en las tablas VI, VII, VIII y figura 14.

Los números A se refieren a la clasificación de Análisis de Metal de Soldadura Ferrosa para Calificación de Procedimiento.

Figura 13. Agrupamiento de metales base para calificación

No. Espec.	Tipo o Grado	No. UNS	Tensión Mínima Especificada, kibi/pulg <sup>2</sup>	Soldadura			Soldadura Fuerte			Composición Nominal	Forma de Producto
				No. P.	No. de Grupo	No. S.	No. P.	No. S.	No. S.		
SA-36	...	K02600	58	1	1	...	101	...	C-Mn-Si	Placa, barra y perfiles	
SA-53	Tipo F	...	48	1	1	...	101	...	C	Tubo C soldadura en horno	
SA-53	Tipo S, Gr. A	K02504	48	1	1	...	101	...	C	Tubo C s/c	
SA-53	Tipo E, Gr. A	K02504	48	1	1	...	101	...	C	Tubo C soldadura de resistencia	
SA-53	Tipo E, Gr. B	K03005	60	1	1	...	101	...	C-Mn	Tubo C soldadura de resistencia	
SA-53	Tipo S, Gr. B	K03005	60	1	1	...	101	...	C-Mn	Tubo C s/c	
SA-105	...	K03504	70	1	2	...	101	...	C-Si	Bridas y accesorios	
SA-106	A	K02501	48	1	1	...	101	...	C-Si	Tubo C s/c	
SA-106	B	K03006	60	1	1	...	101	...	C-Si	Tubo C s/c	
SA-106	C	K03501	70	1	2	...	101	...	C-Si	Tubo C s/c	
A 108	1015 CW	G10150	60	...	...	1	...	101	C	Barra	
A 108	1018 CW	G10180	60	...	...	1	...	101	C	Barra	
A 108	1020 CW	G10200	60	...	...	1	...	101	C	Barra	
SA-134	...	...	...	1	1	...	101	...	C	Tubo C soldado	
A 134	A283A	...	45	...	...	1	...	101	C	Tubo C soldado	
A 134	A285A	K01700	45	...	...	1	...	101	C	Tubo C soldado	
A 134	A283B	...	50	...	...	1	...	101	C	Tubo C soldado	
A 134	A285B	K02200	50	...	...	1	...	101	C	Tubo C soldado	
A 134	A283C	...	55	...	...	1	...	101	C	Tubo C soldado	
A 134	A285C	K02801	55	...	...	1	...	101	C	Tubo C soldado	
A 134	A283D	...	60	...	...	1	...	101	C	Tubo C soldado	
SA-135	A	...	48	1	1	...	101	...	C	Tubo C E.R.W.	
SA-135	B	...	60	1	1	...	101	...	C	Tubo C E.R.W.	
A 139	A	...	48	...	...	1	...	101	C	Tubo C soldado	
A 139	B	K03003	60	...	...	1	...	101	C	Tubo C soldado	
A 139	C	K03004	60	...	...	1	...	101	C	Tubo C soldado	
A 139	D	K03010	60	...	...	1	...	101	C	Tubo C soldado	
A 139	E	K03012	66	...	...	1	...	101	C	Tubo C soldado	
A 148	90-60	...	90	...	...	4	...	103	...	Funciones	
A 167	Tipo 302	S30200	75	...	...	8	...	102	18Cr-8Ni	Placa, lámina y tira	

Fuente: ASME 1998. Sección IX QW/QB-422. p. 73.

Tabla VI. **Clasificación AWS para electrodos recubiertos**

CIFRA	SIGNIFICADO	EJEMPLO
Las 2 ó 3 primeras	Mínima resistencia a la tracción	E 60 XX = 60 000 lb/pulg <sup>2</sup> (mínimo).
Penúltima	Posición de soldadura	E XX1X = toda posición E XX2X = plana y horizontal E XX4X = P, H, VD, SC
Última	Tipo de corriente Tipo de escoria Tipo de arco Penetración Presencia de compuestos químicos en el revestimiento	Ver Tabla 2

**NOTA:** El prefijo "E" significa electrodo para soldadura por arco.

Fuente: INFRA. *Manual de electrodos para soldar*. p. 4.

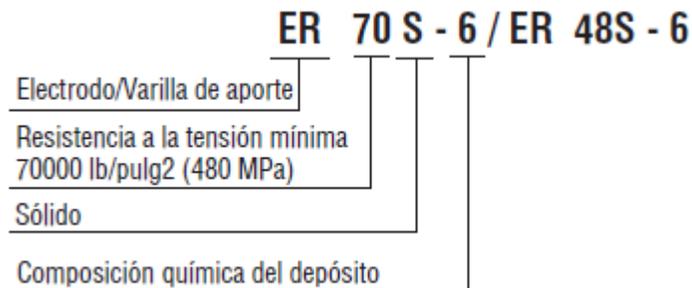
Tabla VII. **Interpretación de la última cifra en la clasificación AWS**

ULTIMA	E-XX10	E-XX11	E-XX12	E-XX13	E-XX14	E-XX15	E-XX16	E-XX17	E-XX18
Tipo de corriente	CDPI e+ Polaridad invertida	CA o CD e+ Polaridad invertida	CA o CD Polaridad Directa e-	CA o CD e+ - Ambas Polaridades	CA o CD e+- Ambas polaridades	CD e+ Polaridad invertida	CA o CD e+ Polaridad invertida	CD e+ Polaridad invertida	CA o CD e+ Polaridad invertida
Tipo de revestimiento	b Orgánico	Orgánico	Rutilo	Rutilo	Rutilo	Bajo Hidrógeno	Bajo Hidrógeno	Bajo Hidrógeno	Bajo Hidrógeno
Tipo de arco	Fuerte	Fuerte	Mediano	Suave	Suave	Mediano	Mediano	Suave	Mediano
Penetración	c Profunda	Profunda	Mediana	Ligera	Ligera	Mediana	Mediana	Mediana	Mediana

a - E-6010/E 4310 C.D.P.I. b - E-6010/E 4310 ORGANICO; E-6020/E 4320 MINERAL E-6020/E 4320 C.A. Y C.D.P.D.  
c - E-6010/4310 PROFUNDA; E-6020/E4320 MEDIA

Fuente: INFRA. *Manual de electrodos para soldar*. p. 5.

Figura 14. Clasificación de microalambre según la AWS



Fuente: INFRA. *Manual de electrodos para soldar*. p. 7.

Tabla VIII. Propiedades mecánicas y químicas del microalambre según la AWS

Clasificación AWS	Gas de protección	Resistencia a la tensión KSI (MPa)	Límite elástico KSI (MPa)	% Elongación mínima en 2 Pulgs.	Resistencia al impacto mínimo en Joules a °C
ER70S-2	CO <sub>2</sub>	70(480)	58(400)	22	27 a - 30°C
ER70S-3	CO <sub>2</sub>	70(480)	58(400)	22	27 a - 20°C
ER70S-4	CO <sub>2</sub>	70(480)	58(400)	22	---
ER70S-6	CO <sub>2</sub>	70(480)	58(400)	22	27 a - 30°C
ER70S-7	CO <sub>2</sub>	70(480)	58(400)	22	27 a - 30°C

Clasif. AWS	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Otro	V
ER70S-2	0,07	0,90-1,40	0,40-0,70	0,025	0,035	0,15	0,15	0,15	0,50	Ti-Zr, Al	0,03
ER70S-3	0,06-0,15	0,90-1,40	0,45-0,75	0,025	0,035	0,15	0,15	0,15	0,50	---	0,03
ER70S-4	0,06-0,15	1,00-1,50	0,65-0,85	0,025	0,035	0,15	0,15	0,15	0,50	---	0,03
ER70S-6	0,06-0,15	1,40-1,85	0,80-1,15	0,025	0,035	0,15	0,15	0,15	0,50	---	0,03
ER70S-7	0,07-0,15	1,50-2,00	0,50-0,80	0,025	0,035	0,15	0,15	0,15	0,50	---	0,03

Fuente: INFRA. *Manual de electrodos para soldar*. p. 7.

#### **2.3.2.4. Posiciones (Sección IX QW-405)**

Especifica las posiciones de prueba que se emplean para calificar el WPS. Las posiciones permitidas se muestran en la figuras 15, 16 y 17.

#### **2.3.2.5. Pre calentamiento (Sección IX QW-406)**

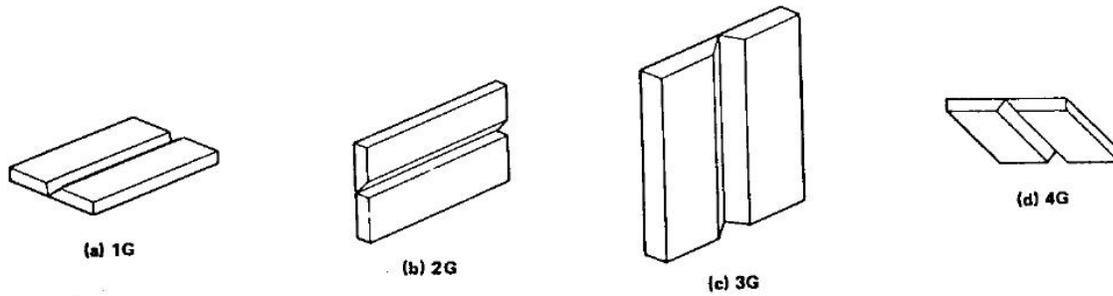
El pre calentamiento consiste en calentar el metal base a una temperatura relativamente baja antes de comenzar la soldadura. La finalidad principal es la de reducir la velocidad de enfriamiento de la zona soldada.

El pre calentamiento reduce la diferencia de temperaturas entre la zona de soldadura y el resto de la pieza. Como consecuencia, la evacuación de calor es más lenta y disminuye la tendencia a la formación de martensita en la zona de soldadura.

La temperatura de pre calentamiento depende de factores como el análisis químico, las propiedades mecánicas a alta temperatura y el espesor del material.

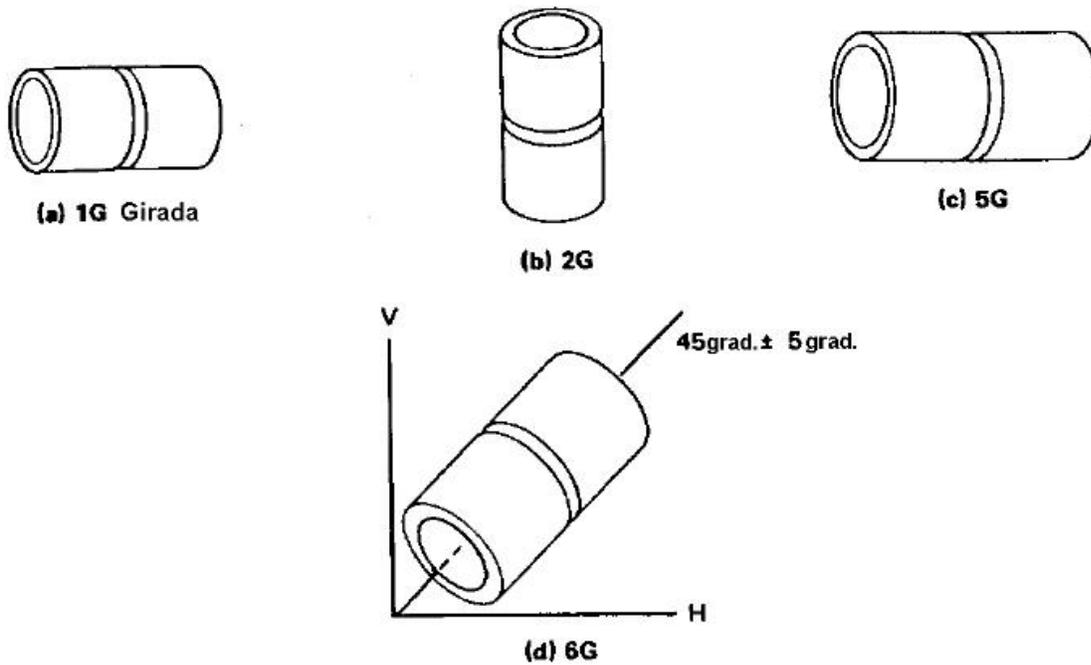
Algunas prácticas usadas para pre calentamiento son descritas en A-100 de la Sección I y el Apéndice No Mandatorio R de la Sección VIII, ambas del Código y estas sirven como una guía general para materiales designados con números P de la Sección IX.

Figura 15. **Posiciones de prueba de soldadura en ranura en placa**



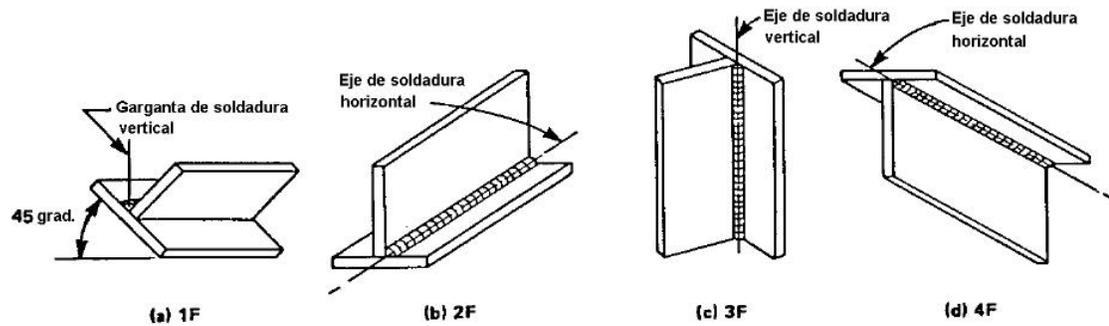
Fuente: ASME 2007. Sección IX QW-461.3. p. 148.

Figura 16. **Posiciones de prueba de soldadura en ranura en tubo**



Fuente: ASME 2007. Sección IX. QW-461.4. p. 148.

Figura 17. **Posiciones de prueba de soldadura con filete en placa**



Fuente: ASME 2007. Sección IX. QW-461.5. p. 148.

### 2.3.2.6. Tratamiento térmico posterior a soldadura (Sección IX QW-407)

El tratamiento térmico posterior a soldadura (PWHT) se aplica principalmente como un tratamiento de atenuación de tensiones. En la soldadura de algunos aceros de elevado contenido en carbono, el PWHT es tan importante como el precalentamiento. La tabla PW-39 de la Sección I del Código indica los requerimientos para el PWHT para partes a presión fabricados de materiales de acero al carbono y aceros de baja aleación designados con números P de la Sección IX del Código.

### 2.3.2.7. Gas (Sección IX QW-408)

El propósito principal de un gas de protección es el de proteger el metal fundido contra la contaminación del oxígeno, nitrógeno e hidrógeno, gases que existen en el aire. Los gases de protección que se utilizan son el helio, argón y CO<sub>2</sub>, y se usan como protección del arco formado, para evitar la formación de óxido en el metal a soldar.

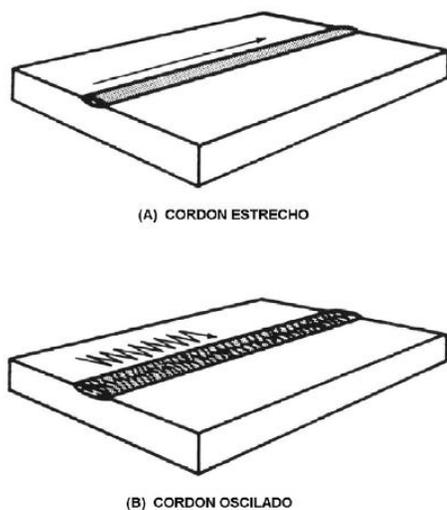
### 2.3.2.8. Características eléctricas (Sección IX QW-409)

Se refieren a los parámetros que se ajustan en la máquina de soldar para realizar el proceso de soldadura. Se listan los siguientes datos: proceso de soldadura, tipo de corriente y polaridad de acuerdo al material de aporte utilizado, rango de amperios y voltaje y velocidad de avance.

### 2.3.2.9. Técnica (Sección IX QW-410)

Aquí se especifica la técnica de soldadura, el proceso de preparación de la junta, el tipo de limpieza entre pases de soldadura y de la presentación de la soldadura. La técnica de la soldadura se ilustra en la figura 18. En la figura, la flecha adyacente al cordón de soldadura indica el movimiento aproximado del electrodo, flama u otra fuente de energía relativa a la pieza de trabajo.

Figura 18. **Técnica de soldadura**



Fuente: AWS A3.0:2001. *Norma de términos y definiciones de soldadura*. p. 105.

## **2.4. Procesos de soldadura**

Los procesos de soldadura que se utilizan en el mantenimiento y reparación de calderas y equipos auxiliares en la planta Las Palmas II son:

- Soldadura de arco metálico protegido (SMAW)
- Soldadura con arco de tungsteno y gas (GTAW)

Existen otros procesos de soldadura que el Código considera, pero solo se explicarán brevemente los procesos de soldadura que el Departamento de Mantenimiento Mayor utiliza con mayor frecuencia.

### **2.4.1. Soldadura de arco metálico protegido (SMAW)**

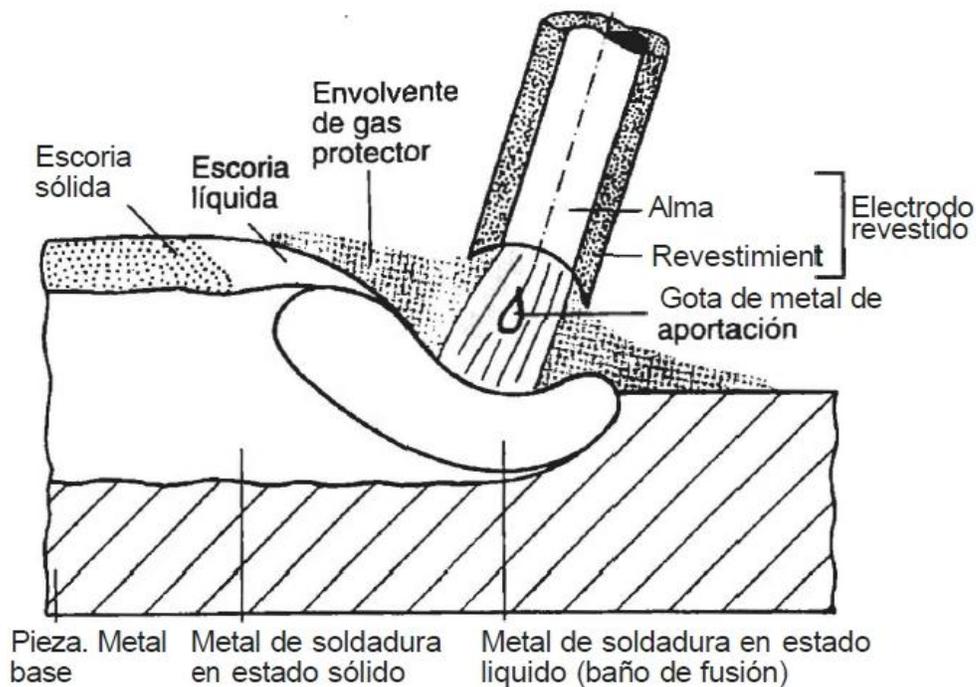
Es un proceso en el que la fusión del metal se produce gracias al calor generado por un arco eléctrico establecido entre el extremo de un electrodo revestido y el metal base de una unión a soldar. El material de aportación se obtiene por la fusión del electrodo en forma de pequeñas gotas. La protección se obtiene por la descomposición del revestimiento en forma de gases y en forma de escoria líquida que flota sobre el baño de fusión y posteriormente solidifica. Este proceso se ilustra en la figura 19.

#### **2.4.1.1. Aplicaciones del proceso SMAW**

La soldadura por arco con electrodos revestidos es uno de los procesos de mayor utilización, especialmente en soldaduras de producción cortas, trabajos de mantenimiento y reparación, así como en construcciones en campo. La mayor parte de las aplicaciones del soldeo por arco con electrodos revestidos se dan con espesores comprendidos entre 3 y 38 mm. El proceso es

aplicable a aceros al carbono, aceros aleados, inoxidables, fundiciones y metales no férreos como aluminio, cobre, níquel y las aleaciones. Los sectores de mayor aplicación son la construcción naval, de máquinas, estructuras, tanques y esferas de almacenamiento, puentes, recipientes a presión y calderas, refinерías de petróleo, oleoductos y gaseoductos y en cualquier otro tipo de trabajo similar.

Figura 19. **Proceso de soldadura SMAW**



Fuente: HERNÁNDEZ, Germán. *Manual del soldador*. p. 193.

Se puede emplear en combinación con otros procesos de soldadura, realizando bien la pasada de raíz o las de relleno, en tubería se suele emplear en combinación con el proceso GTAW. La raíz se realiza con GTAW completándose la unión mediante el proceso SMAW.

## **2.4.2. Soldadura con arco de tungsteno y gas (GTAW)**

El procedimiento de soldadura por arco bajo gas protector con electrodo no consumible también llamado GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), utiliza como fuente de energía el arco eléctrico que se establece entre un electrodo no consumible y la pieza a soldar, mientras un gas inerte protege el baño de fusión. Este procedimiento se ilustra en la figura 20.

### **2.4.2.1. Aplicaciones del proceso GTAW**

El proceso GTAW se puede utilizar para la soldadura de todos los materiales, incluidos el aluminio y el magnesio y los materiales sensibles a la oxidación como el titanio, circonio y las aleaciones.

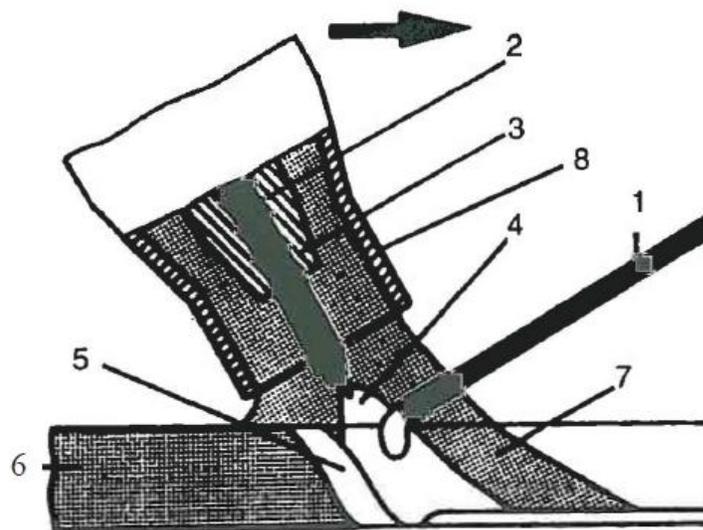
Puesto que el proceso posee las virtudes necesarias para conseguir soldaduras de alta calidad y con una elevada pureza metalúrgica, exentas de defectos y buen acabado superficial es ideal para soldaduras de responsabilidad en la industria del petróleo, química, petroquímica, alimentación, generación de energía, nuclear y aeroespacial. Como la tasa de deposición es baja, no resulta económico para soldar materiales con espesores mayores de 8 mm. En estos casos el GTAW se utiliza para efectuar la pasada de raíz, empleándose otros procesos de mayor productividad para el resto de las pasadas de relleno.

## **2.5. Tipo de pruebas requeridas para calificación de WPS**

La calificación de la Especificación del Procedimiento de Soldar (WPS) está sujeta a los resultados obtenidos mediante ensayos mecánicos y ensayos no destructivos aplicados al espécimen con la soldadura realizada.

Si los resultados están dentro de los requerimientos de la Sección IX del Código se extiende el respectivo Registro de Calificación del Procedimiento (PQR).

Figura 20. **Proceso de soldadura GTAW**



- 1.- Varilla de aportación. Metal de aportación
- 2.- Electrodo no consumible
- 3.- Boquilla de contacto
- 4.- Arco eléctrico
- 5.- Metal de soldadura fundido
- 6.- Pieza a soldar. Metal base
- 7.- Protección gaseosa
- 8.- Tobera

Fuente: HERNÁNDEZ, Germán. *Manual del soldador*. p. 245.

A continuación se describirán los tipos y propósitos de los ensayos de acuerdo a la Sección IX del Código.

## **2.5.1. Ensayos mecánicos**

La calidad de una junta soldada se puede comprobar mediante ensayos adecuados. Los ensayos se realizan para determinar las propiedades mecánicas de la soldadura y de la junta soldada. Para la calificación del procedimiento de soldadura se debe indicar los siguientes datos:

- Ensayos requeridos por la Sección IX del Código
- Especificaciones del proceso de ensayo de la Sección IX del Código
- Interpretación de las propiedades determinadas mediante los ensayos

### **2.5.1.1. Ensayo de tensión**

Las pruebas de tensión se usan para determinar la resistencia última de juntas de soldadura en ranura.

#### **2.5.1.1.1. Especímenes (Sección IX QW-151)**

Los especímenes de la prueba de tensión conformarán con uno de los tipos ilustrados en las figuras 21, 22 y 23.

#### **2.5.1.1.2. Procedimiento de prueba de tensión (Sección IX QW-152)**

El espécimen de prueba de tensión se llevará a la ruptura sometido a carga de tensión. La resistencia de tensión se calculará con dividir la carga total de rotura por el área de sección recta más pequeña del espécimen según se calculó por mediciones reales hechas antes que la carga sea aplicada.

### **2.5.1.1.3. Criterios de aceptación (Sección IX QW-153)**

Para pasar la prueba de tensión, el espécimen tendrá una resistencia de tensión que no sea menor que:

- La mínima resistencia de tensión especificada del metal base.
- La mínima resistencia de tensión especificada del más débil de los dos, si se usan metales base de resistencias de tensión mínima diferentes.
- La mínima resistencia de tensión especificada del metal de soldadura cuando la sección aplicable da disposiciones para el uso de metal de soldadura que tiene resistencia a temperatura ambiente inferior que el metal base.
- Si el espécimen se rompe en el metal base afuera de la soldadura o de la línea de fusión la prueba será aceptada como que satisface los requerimientos, siempre y cuando la resistencia no esté más del 5 % abajo de la mínima resistencia de tensión especificada del metal base.

### **2.5.1.2. Ensayo de doblez guiado**

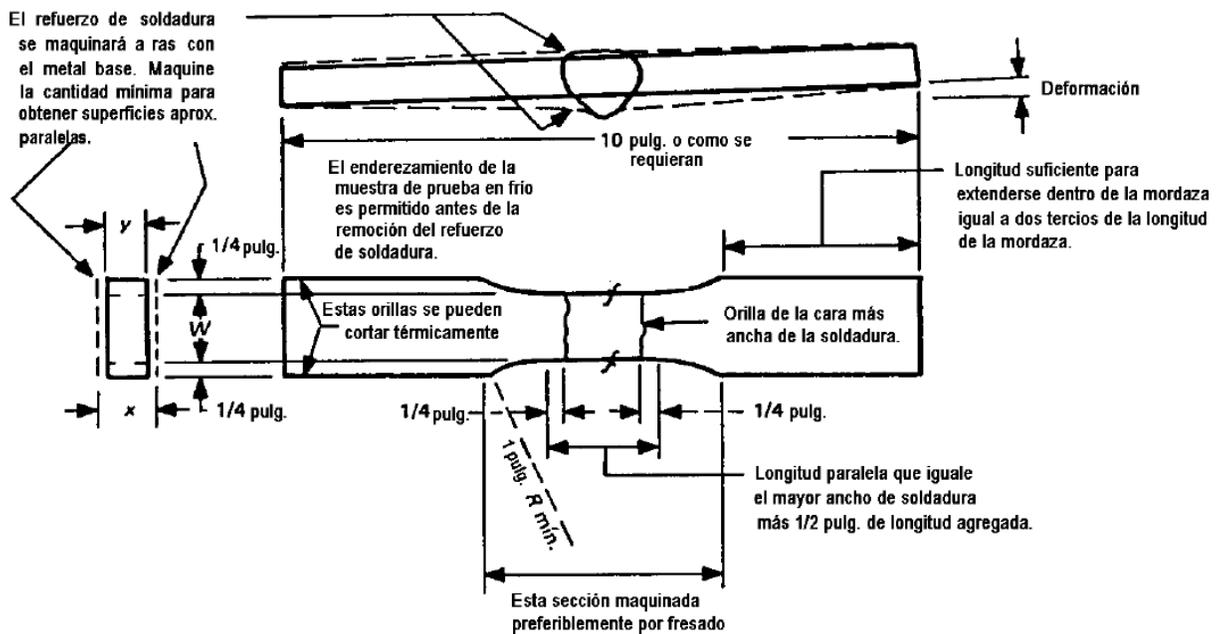
Las pruebas de doblez guiado se usan para determinar el grado de solidez y ductilidad de juntas de soldadura en ranura.

#### **2.5.1.2.1. Especímenes (Sección IX QW-161)**

Se prepararán especímenes para prueba de doblez guiado mediante el corte de placa o tubo de prueba para formar especímenes de sección recta aproximadamente rectangular.

Las superficies de corte se designarán los lados del espécimen. Las otras dos superficies serán llamadas las superficies de cara y de raíz, la superficie de cara teniendo el mayor ancho de soldadura. Los especímenes prueba de doblez guiado conformaran con los tipos ilustrados en la figura 24.

Figura 21. **Espécimen de sección reducida de placa para ensayo de tensión**



Fuente: ASME 1998. Sección IX QW-462.1 (a). p. 148.

Notas de la figura 21:

- x = espesor de muestras con inclusión de refuerzo
- y = espesor de espécimen
- T = espesor de muestra con exclusión de refuerzo
- W = ancho de espécimen  $\frac{3}{4}$  pulg



Notas de la figura 23:

- El refuerzo de soldadura se esmerilara o se maquinara de manera que el espesor de soldadura no exceda el espesor del metal base T. Maquine la cantidad mínima para obtener superficies aproximadamente paralelas.
- La sección reducida no será menos que el ancho de la soldadura más 2y.

#### **2.5.1.2.2. Procedimiento de prueba de doblez guiado (Sección IX QW-162)**

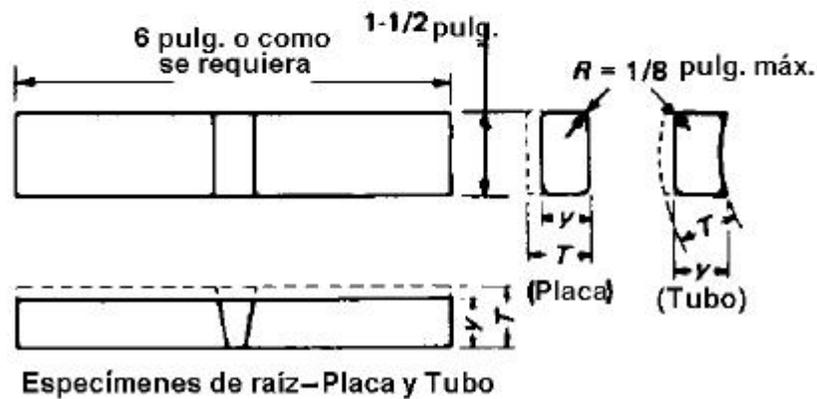
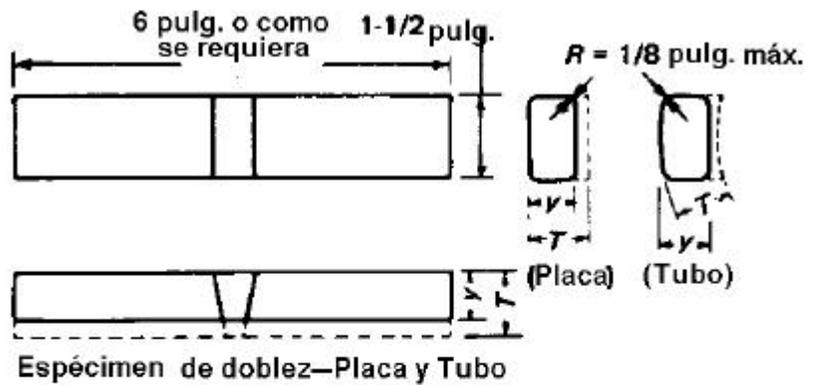
Los especímenes de prueba de doblez guiado se doblarán en dispositivos de prueba que estén esencialmente de acuerdo con QW-466.

#### **2.5.1.2.3. Criterios de aceptación (Sección IX QW-163)**

La soldadura y la zona afectada por el calor de un espécimen de doblez transversal de soldadura, estará completamente dentro de la porción doblada del espécimen después de la prueba.

Los especímenes de doblez guiado nada habrán de tener de defectos abiertos en la soldadura o en la zona afectada por el calor que excedan de 1/8 pulg., medido en cualquier dirección sobre la superficie convexa del espécimen después del doblado. Los defectos abiertos que ocurran en las esquinas del espécimen durante la prueba no se tomarán en cuenta a menos que haya evidencia precisa de que ellos resultan por falta de fusión, inclusiones de escoria u otros defectos internos.

Figura 24. **Espécimen transversal para dobleces de cara y raíz**



$T$ , pulg.	$y$ , pulg.	
	No. P-23, No. F-23, ó No. P-35	Todos los otros materiales
$1/16 < 1/8$	$T$	$T$
$1/8-3/8$	$1/8$	$T$
$> 3/8$	$1/8$	$3/8$

Fuente: ASME 1998. Sección IX QW-462.3 (a). p. 152.

### 2.5.2. Ensayos mecánicos requeridos por la Sección IX del Código para calificación de WPS

La cantidad de ensayos mecánicos requeridos por el Código se define por el espesor T de muestra de la prueba de soldadura. En la tabla IX se especifica la cantidad y tipo de ensayos mecánicos para un rango de espesores dado.

Tabla IX. Límites de espesores y especímenes de prueba para calificación de procedimiento

Pruebas de Tensión y de Doble Transversal de Soldadura en Ranura							
Nota: unidades en pulgadas (unidades en mm)	Orden de Espesor T de Metal Base Calificado (mm)		Espesor t de Metal de Soldadura Depositado Calificado (mm)	Tipo y Numero de Pruebas Requeridas Pruebas de Tensión y de Doble Guiado			
	Min.	Max.		Max.	Tensión	Doble Lateral	Doble de Cara
Menos de 1/16 (1.5)	T	2T	2T	2	...	2	2
1/16 a 3/8, incl. (1.5 a 10)	1/16 (1.5)	2T	2T	2	...	2	2
Arriba de 3/8 (10), pero menos de 3/4 (19)	3/16 (5)	2T	2T	2	...	2	2
3/4 (19) hasta menos de 1 ½ (38)	3/16 (5)	2T	2T cuando t < 3/4 (19)	2	4	...	...
3/4 (19) hasta menos de 1 ½ (38)	3/16 (5)	2T	2T cuando t ≥ 3/4 (19)	2	4	...	...
1 ½ (38) y mas	3/16 (5)	8 (200)	2T cuando t < 3/4 (19)	2	4	...	...
1 ½ (38) y mas	3/16 (5)	8 (200)	8 (200) cuando t ≥ 3/4 (19)	2	4	...	...

Fuente: ASME 2007. Sección IX QW-451.1. p. 139.

### 2.5.3. Orden de remoción de piezas para ensayos mecánicos

El orden de remoción de las piezas de los cupones de prueba para maquinar los especímenes de prueba se ilustran en las figura 25 y 26.

Figura 25. Orden de remoción de placas

Descarte		esta pieza
Sección Reducida		Espécimen de tensión
Espécimen para		doble de raíz
Espécimen para		doble de raíz
Espécimen para		doble de raíz
Espécimen para		doble de raíz
Sección Reducida		Espécimen de tensión
Descarte		esta pieza



QW-463.1(a) PLACAS — MENOS DE  $\frac{3}{4}$  PULG. DE ESPESOR CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO

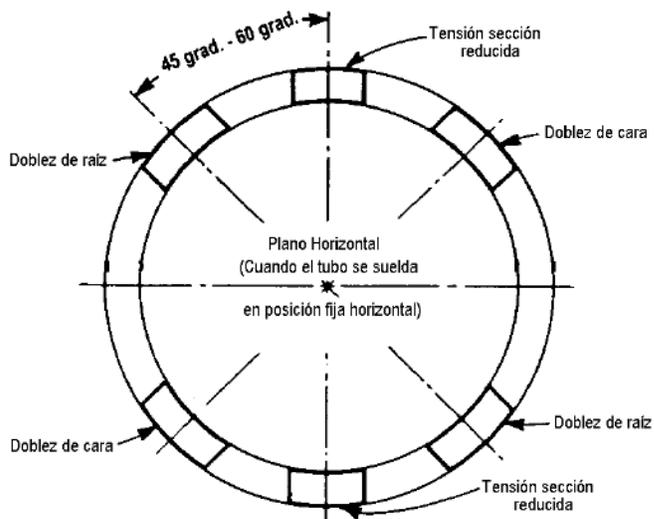
Descarte		esta pieza
Espécimen para		doble lateral
Espécimen de tensión para		sección Reducida
Espécimen para		doble lateral
Espécimen para		doble lateral
Espécimen de tensión para		sección Reducida
Espécimen para		doble lateral
Descarte		esta pieza



QW-463.1(b) PLACAS — ESESOR DE  $\frac{3}{4}$  PULG. Y MAS Y ALTERNAS DESDE  $\frac{3}{8}$  PULG. PERO MENOS DE  $\frac{3}{4}$  PULG. DE ESPESOR CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO

Fuente: ASME 1998. Sección IX QW-463.1 (a) y QW-463.1 (b). p. 165.

Figura 26. Orden de remoción en tubos



Fuente: ASME 1998. Sección IX QW-463.1 (d). p. 166.

#### **2.5.4. Ensayos no destructivos**

Los métodos de inspección se realizarán mediante los siguientes Ensayos No Destructivos (NDT) especificados en la Sección IX del Código para calificación de procedimientos:

- Examen radiográfico
- Examen de líquidos penetrantes
- Examen visual

##### **2.5.4.1. Examen radiográfico (Sección IX QW-191)**

Según Horwitz este método de prueba aprovecha la posibilidad que ofrecen las radiaciones de onda corta, como los rayos X y los rayos gama, de penetrar a través de objetos opacos a la luz ordinaria. Estos rayos tienen tal propiedad por la longitud de onda más corta que la de la luz. En general, a menor longitud de onda corresponde mayor poder de penetración. No toda la radiación penetra a través de la soldadura; parte de ella es absorbida. La magnitud de la absorción es función de la densidad y del espesor de la soldadura.

Si hay una cavidad, como por ejemplo un poro de escape de gases en el interior de la soldadura, el haz de radiación tendrá menos metal que traspasar que en una buena soldadura. Consecuentemente, habrá una variación, que si se mide o registra en una película sensible a la radiación, dará una imagen que indicará la presencia del defecto.

#### **2.5.4.2. Examen visual (Sección IX QW-194)**

Es el método más usado de inspección, por ser fácil de aplicar, rápido, y de un costo relativamente bajo, así como porque proporciona información muy importante en relación con el cumplimiento general del conjunto soldado con los requerimientos de la especificación. La inspección visual se efectúa antes de aplicar la soldadura, durante la labor de aplicación, y después de haberla terminado. Antes de comenzar a soldar, el inspector revisa el material por soldar, en busca de defectos tales como costras, costuras, escamas, laminaciones en placa y dimensiones de la placa. Después de ensamblar las partes que han de soldarse, el inspector puede notar si hay aberturas de raíz incorrectas, preparación inadecuada de los bordes y demás características de preparación de la junta que pudieran afectar la calidad de la junta soldada.

#### **2.5.4.3. Examen de líquidos penetrantes (Sección QW-195)**

La inspección con líquido penetrante es un método no destructivo para localizar grietas superficiales y pequeños poros invisibles a simple vista. Es una técnica favorecida para localizar fallas en soldaduras, y puede aplicarse en donde no es útil la inspección por partículas magnéticas, como en los aceros inoxidable austeníticos o en los metales no ferrosos. En la inspección por penetrante fluorescente se aplica un líquido altamente fluorescente, con buena calidad de penetración a la superficie de la parte que va a ser examinada. La acción capilar arrastra al líquido al interior de las aberturas de la superficie. Luego se elimina el exceso de líquido de la pieza, y se usa un revelador para sacar el penetrante a la superficie, y la indicación resultante se ve a la luz ultravioleta (negra). El fuerte contraste entre el material fluorescente y el fondo hace posible detectar hasta pequeñas trazas de penetrante.

### **3. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL: CALIFICACIÓN DE LA ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDAR (WPS) PARA EL MATERIAL BASE SA-213T22**

#### **3.1. Situación actual**

El Departamento de Mantenimiento Mayor es el encargado de ejecutar los trabajos de reparación o modificación que involucran procesos de soldadura en calderas y equipos auxiliares. Existen procedimientos de soldadura que fueron utilizados durante la construcción de la planta Las Palmas II, pero actualmente cuando se necesita realizar una soldadura el WPS no se consulta y por lo tanto existe la posibilidad que las soldaduras realizadas no cumplan con los requerimientos necesarios para un servicio en particular. Otro aspecto a considerar es que el soldador que realiza dicha reparación o modificación debe estar calificado para realizar dicho procedimiento de soldadura.

#### **3.2. Alcance**

Este trabajo de graduación lista los materiales base que conforman los elementos de caldera y equipos auxiliares con el fin de realizar la Especificación del Procedimiento de Soldar (WPS) para cada tipo de materiales base o una combinación de estos.

Conocer la composición química de los materiales base a soldar es el punto de partida para iniciar el desarrollo de un WPS, puesto que esta variable esencial es la referencia inicial para elegir el tipo de proceso de soldadura recomendable y el material de aporte a utilizar.

Los materiales base que conforman los elementos de caldera y equipos auxiliares son numerosos, con el objetivo de reducir los procedimientos de soldadura se clasificaran los materiales base de acuerdo a sus números P.

Las limitantes de este trabajo son las siguientes:

- Disponibilidad de material base.
- Cantidad de ensayos mecánicos autorizados por el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería.

Se acordó con el gerente del Departamento de Mantenimiento Mayor realizar la calificación de un WPS.

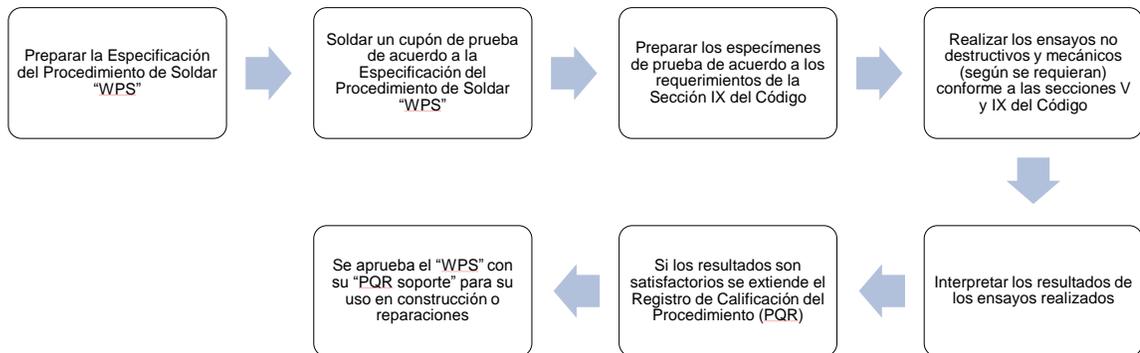
El material escogido para realizar el WPS es el SA-213T22, usado en los tubos del supercalentador en las calderas. Los ensayos de tensión y de doblez se realizaron en el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

### **3.3. Guía para calificación de la Especificación del Procedimiento de Soldar (WPS)**

Los lineamientos desarrollados por Niebles fueron utilizados para elaborar y calificar la Especificación del Procedimiento de Soldar (WPS). Un esquema resumido de esta guía se muestra en la figura 27.

- Reconocimiento del trabajo. Se recolecta información básica que ayudará a comprender el tipo de trabajo a realizar. Se investiga el tipo de material base, rango de espesor del material base, el tipo de junta y cualquier otra información relevante.

Figura 27. **Pasos para la calificación de la Especificación del Procedimiento de Soldar (WPS)**



Fuente: elaboración propia.

- Selección del código a trabajar. Para seleccionar el tipo de código con el cual se va a trabajar se necesita saber los requerimientos de la construcción soldada deseada.
- Definición de variables. Determinar las variables de soldadura esenciales, suplementarias y no esenciales adecuadas con el fin de asegurar la calidad del trabajo acorde a las especificaciones requeridas.
- Elaboración de la Especificación del Procedimiento de Soldar (WPS). Este documento contiene todas las variables de soldadura que serán usadas durante el procedimiento de soldadura.
- Preparación de la junta. La preparación y limpieza de los bordes se debe realizar cuidadosamente y se debe remover todo contaminante que pueda ser un impedimento para realizar una buena soldadura. El

ensamble de la junta se debe realizar de acuerdo al diseño especificado en el WPS.

- Desarrollo de la soldadura. Se procede a realizar la soldadura guiada por las variables esenciales, variables esenciales suplementarias y variables no esenciales contenidas en el WPS. El soldador realizará la soldadura sobre un cupón de prueba, de este cupón se hará el espécimen de prueba conforme a los requisitos del Código y será sometido a ensayos que determinaran las propiedades mecánicas.
- Inspección visual. La inspección visual es un método no destructivo utilizado para inspeccionar soldaduras. Este método se utiliza antes, durante y después del proceso de soldadura, con el objetivo de verificar la junta y el aspecto de la soldadura en cada etapa y observar si existen defectos. Este método abarca también la verificación de parámetros de operación y condiciones del equipo de soldadura.
- Selección y aplicación de ensayos requeridos. Cuando se termina de soldar la junta y aprobada la inspección visual, se especifican los ensayos requeridos por el Código. La elección del tipo y cantidad de ensayos se define por el tipo de junta y espesor del material base. Estas pruebas son diseñadas para determinar las propiedades mecánicas y la compatibilidad de los materiales base y el material de aporte del espécimen de prueba.
- Extender el Registro de Calificación del Procedimiento (PQR). Una vez realizados los ensayos respectivos y si los resultados satisfacen las especificaciones requeridas se extiende el respectivo PQR. Este

documento sirve de soporte al WPS y aquí se registran todas las variables reales que fueron utilizadas durante el proceso de soldadura.

- Aprobación de la Especificación del Procedimiento de Soldar (WPS). El WPS está listo para su uso en trabajos de construcción y reparación.

### **3.4. Calificación de la Especificación del Procedimiento de Soldar (WPS) para el material SA-213T22**

La secuencia general para la elaboración y calificación del procedimiento de soldadura es relacionada a continuación acorde con los siguientes lineamientos.

#### **3.4.1. Reconocimiento del trabajo**

El WPS se desarrolló en la Planta Las Palmas II de Duke Energy Guatemala. El área específica de trabajo son los tubos de los supercalentadores secundarios de las calderas.

#### **3.4.2. Selección del código a trabajar**

De acuerdo a la especificación del producto, en este caso tubería de caldera que necesita ser reemplazada o reparada, el código aplicable es el Código ASME para Calderas y Recipientes a Presión y la Sección IX: estándar para calificar procedimientos de soldadura y soldadura fuerte, soldadores, braceadores, y operarios de soldadura y soldadura fuerte.

### **3.4.3. Definición de variables**

Se utilizó la tabla IV Variables de soldadura para proceso GTAW para seleccionar las variables esenciales, esenciales suplementarias y no esenciales.

### **3.4.4. Elaboración de la Especificación del Procedimiento de Soldar (WPS)**

Las especificaciones de los tubos del supercalentador secundario fueron tomadas de los planos de la caldera. En los planos se indica que el material base del tubo es SA-213T22. Tomando el material como referencia se inicia con la selección de variables para elaborar el WPS.

Las especificaciones del material base se pueden encontrar en el Código, Sección II: materiales, Parte A: materiales ferrosos, SA-213 "Specification for seamless ferritic and austenitic alloy-steel boiler, superheater, and heat-exchanger tubes".

El proceso de soldadura a utilizar es el GTAW. El material de aporte se escogió en base a la composición química del material base con el fin de lograr una buena compatibilidad de la soldadura, utilizando la Practica Recomendada 582 de la API. Las especificaciones del material de aporte se pueden encontrar en el Código, Sección II: materiales, Parte C: especificaciones de varillas de soldadura, electrodos y metales de aporte, SFA-5.28.

Los cupones de prueba que se utilizaron para realizar la prueba de soldadura se tomaron de un tubo de supercalentador de diámetro exterior de 2"

y espesor de pared de 0,255". El tipo de junta es de unión a tope y el tipo de soldadura aplicable es en V.

La Especificación del Procedimiento de Soldar (WPS) para este material base se muestra en la tabla X de la página 99.

### **3.4.5. Desarrollo de la soldadura**

La soldadura de la junta se realizó de acuerdo a los parámetros de las variables especificadas en la Especificación del Procedimiento de Soldar (WPS) de la tabla X de la página 99. La ejecución de la soldadura estuvo a cargo de un soldador, empleado por un contratista de la planta Las Palmas II, estando siempre un supervisor de soldadura acompañando el proceso.

### **3.4.6. Inspección visual**

Los aspectos a controlar antes de efectuarse la soldadura fueron:

- Verificar que los materiales base y los materiales sean los correctos
- La preparación de la junta a soldar según el WPS
- Verificación de las condiciones operativas del equipo de soldadura

Durante la soldadura los aspectos verificados fueron:

- Aplicación y verificación de la temperatura de precalentamiento
- Aplicación y verificación de la temperatura entre pases
- Verificar la calidad del pase de raíz, relleno y presentación
- Verificar la limpieza entre pases y el aspecto de la soldadura final

La inspección visual fue satisfactoria antes, durante y después de realizarse la soldadura.

Figura 28. **Cupones de prueba**



Fuente: taller de Departamento de Mantenimiento Mayor.

Figura 29. **Pieza de metal utilizada para separar los cupones de prueba**



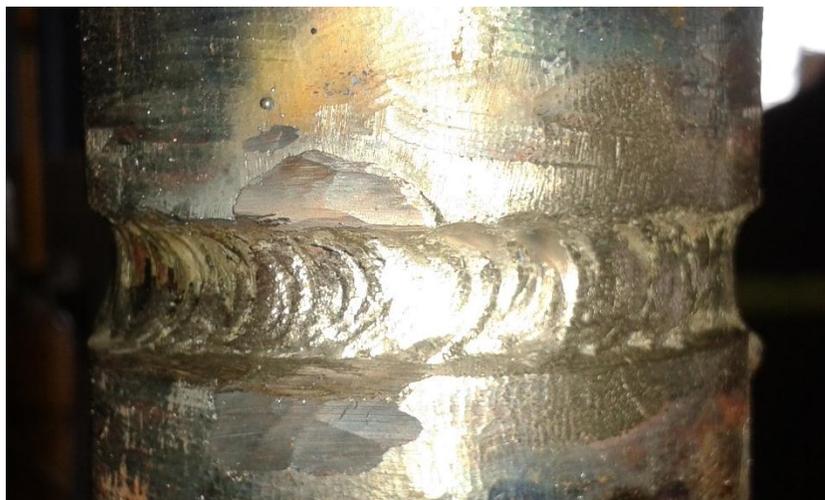
Fuente: taller de Departamento de Mantenimiento Mayor.

Figura 30. **Cupones de prueba en posición 2G preparados para ser punteados**



Fuente: taller de Departamento de Mantenimiento Mayor.

Figura 31. **Vista exterior del pase de raíz de soldadura**



Fuente: taller de Departamento de Mantenimiento Mayor.

### 3.4.7. Selección y aplicación de ensayos requeridos

El espesor T de muestra de prueba de soldadura del cupón de prueba es de 0,255" (6,48 mm). Refiriéndose a la tabla IX, este espesor se encuentra en el rango de 1,5 mm y 10 mm y el cual requiere de 2 ensayos de tensión, 2 ensayos de dobléz de cara y 2 ensayos de dobléz de raíz. Las medidas de los especímenes tensión y de dobléz se pueden consultar en el apéndice 1.

Figura 32. **Especímenes de prueba para ensayo de tensión**



Fuente: taller de Departamento de Mantenimiento Mayor.

Figura 33. **Especímenes de prueba para ensayo de dobléz**



Fuente: taller de Departamento de Mantenimiento Mayor.

### **3.4.8. Extender el Registro de Calificación de Procedimiento (PQR)**

Para extender el PQR del procedimiento de soldadura es necesario que se aprueben los exámenes requeridos por la Sección IX del Código.

#### **3.4.8.1. Análisis del examen visual**

Se aprobó el examen visual según la Sección IX QW-194. Al revisar los pases de raíz, relleno y presentación estos presentaban buenas características y aspecto. La inspección visual fue aprobada por el practicante de EPS.

Figura 34. **Inspección visual de pase de raíz de soldadura interna**



Fuente: taller de Departamento de Mantenimiento Mayor.

#### **3.4.8.2. Análisis del ensayo de tensión**

Se pasaron los criterios de aceptación de Sección IX QW-153. Los especímenes de prueba fallaron en el material base y no en la soldadura (ver figura 35). El esfuerzo último de los especímenes de prueba fueron de 76 kPsi y

69 kPsi sobrepasando el esfuerzo último del material base que es de 60 kPsi. Los especímenes fallados se presentan en la figura 35 y el informe del Ensayo de Tensión del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala se puede consultar en el anexo 3.

Figura 35. **Especímenes de prueba de tensión con falla en metal base**



Fuente: taller de Departamento de Mantenimiento Mayor.

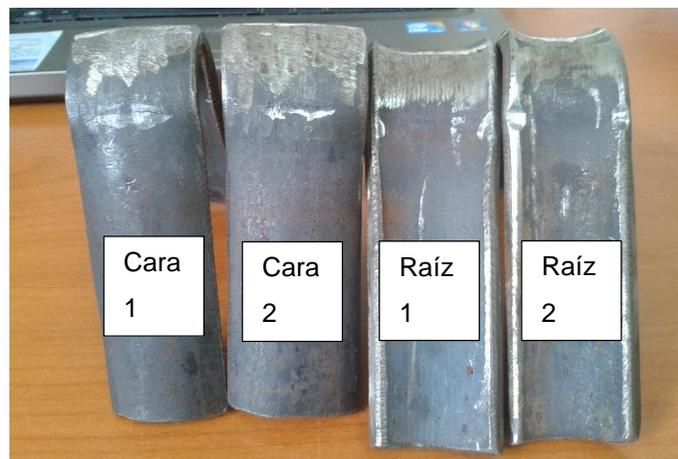
### **3.4.8.3. Análisis del ensayo de doblez**

Según requerimientos de la Sección IX del Código, se realizaron 2 ensayos de doblez transversal de cara y 2 de cara transversal de raíz. Los especímenes de prueba para doblez transversal de cara cumplen con los criterios de aceptación QW-163 del Código. Los especímenes de prueba para doblez transversal de raíz tuvieron los siguientes defectos:

- Espécimen 1 de doblez de raíz: en este espécimen se observa un defecto abierto en la esquina del espécimen y no se tomara en cuenta de acuerdo a QW-163.
- Espécimen 2 de doblez de raíz: este espécimen presenta dos defectos, uno en la soldadura y el otro en la zona afectada por el calor. Ambos defectos se aceptan debido a que ninguno excede de 1/8" medido en

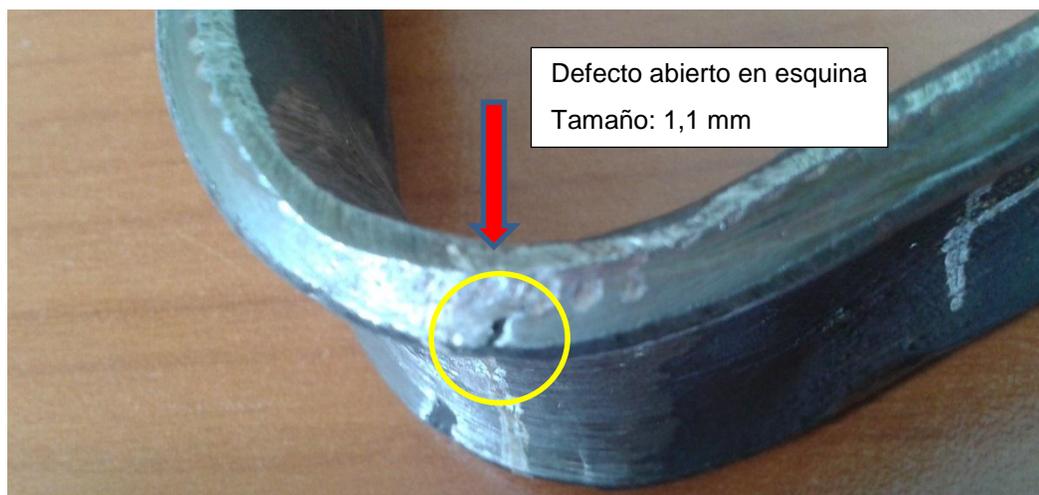
cualquier dirección sobre la superficie convexa del espécimen después del doblado.

Figura 36. **Especímenes de prueba doblados**



Fuente: taller de Departamento de Mantenimiento Mayor.

Figura 37. **Defecto abierto en espécimen 1 doblado de raíz**



Fuente: taller de Departamento de Mantenimiento Mayor.

Figura 38. Defecto abierto 1 en espécimen 2 doblado de raíz



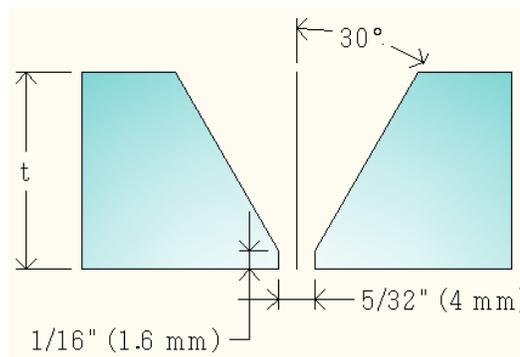
Fuente: taller de Departamento de Mantenimiento Mayor.

Figura 39. Defecto abierto 2 en espécimen 2 doblado de raíz



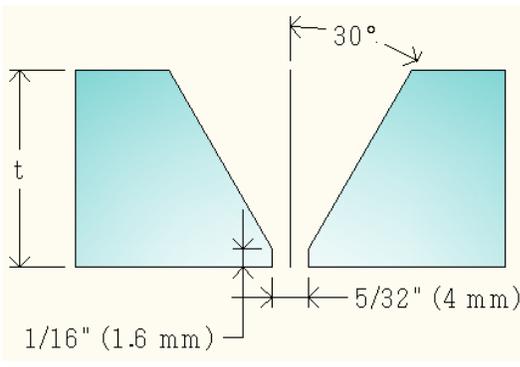
Fuente: taller de Departamento de Mantenimiento Mayor.

Tabla X. **WPS para el material SA-213T22 (P5A-P5A)**

ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDAR (WPS) (Sección IX, Código ASME para Calderas y Recipientes a Presión)									
Nombre de la compañía	Duke Energy Guatemala	Por	Amilcar Osorio	Fecha	14/05/14				
WPS no.	P5A-P5A	PQR soporte no.	P5A-P5A	Proceso	GTAW	Tipo	Manual		
<b>Juntas (QW-402)</b>				<b>Metales Base (QW-403)</b>					
Diseño de junta	A tope en V			P-no	Grupo	a	P-no	Grupo	
Respaldo	No			P5A	1		P5A	1	
				Especificación	a		Especificación		
				SA-213T22			SA-213T22		
				Orden de espesores del Metal Base	Ranura	0,100"-0,320"			
					Filete	Todo			
				Máximo espesor de pase > 1/2"	No				
<b>Material de Aporte (QW-404)</b>									
Proceso				GTAW					
SFA no.				5.28					
AWS no.				ER90S-B3					
F-no.				6					
A-no.				4					
Tamaño				3/32", 1/8"					
Rango de espesor del deposito				0,120"					
<b>Posiciones (QW-405)</b>				<b>Tratamiento Térmico Post-soldadura (QW-407)</b>					
Posiciones de ranura		Todas		Rango de Temp.		N/A			
Progresión soldadura		Hacia arriba		Rango de tiempo		N/A			
Posición de filete		Todas		<b>Gas (QW-408)</b>					
<b>Pre calentamiento (QW-406)</b>									
Rango Temp. Precalen.		400 °F (204 °C)		Gas		Mezcla		Flujo	
Rango Temp. Entrepas.		400 °F (204 °C)		Argón		100 % Ar.		25 CFH	
Mantenimiento Precalen.		N/A		Protección					
<b>Características Eléctricas (QW-409)</b>									
Pases de soldadura	Proceso	Clasificación	Diámetro	Tipo y Polaridad	Amperios (Rango)	Voltaje (Rango)	Velocidad de avance (Rango)		
Todo	GTAW	ER90S-B3	3/32"	CDPD	80-180	N/A	Necesario		
			1/8"	CDPD	90-275	N/A	Necesario		
Especificación del electrodo de tungsteno				Diámetro material de aporte		3/32"	1/8"		
				Diámetro del electrodo		3/32"	1/8"		
				Tobera cerámica		7/16"	1/2"		
				Porcentaje de torio		2 %			
<b>Técnica (QW-410)</b>									
Cordón recto u oscilado				Ambos					
Oscilación				Requerido					
Limpieza inicial y entrepasos				Cepillado y pulido					
Método del saneado posterior				Pulido					
Paso sencillo o múltiple (por lado)				Múltiple					
Electrodo sencillo o múltiple				Sencillo					

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. PQR para el material SA-213T22 (P5A-P5A)

REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR) (Sección IX, Código ASME para Calderas y Recipientes a Presión)									
Nombre de la compañía	Duke Energy Guatemala	Por	Amilcar Osorio	Fecha	26/05/14				
WPS no.	P5A-P5A	Proceso	GTAW	Tipo	Manual				
<b>Juntas (QW-402)</b>				<b>Metales Base (QW-403)</b>					
Diseño de junta	A tope en V			P-no	Grupo	a	P-no		
Respaldo	No			P5A	1		P5A		
				Especificación	a		Especificación		
				SA-213T22			SA-213T22		
				Espesor del metal base	0,255"				
				Máximo espesor de pase > 1/2"	No				
				<b>Material de Aporte (QW-404)</b>					
Proceso				GTAW					
SFA no.				5.28					
AWS no.				ER90S-B3					
F-no.				6					
A-no.				4					
Tamaño				1/8"					
Espesor del deposito				0,255"					
<b>Posiciones (QW-405)</b>				<b>Tratamiento Térmico Post-soldadura (QW-407)</b>					
Posiciones de ranura	2G			Rango de Temp.					
Progresión soldadura	Hacia arriba			N/A					
Posición de filete	N/A			Rango de tiempo					
<b>Pre calentamiento (QW-406)</b>				N/A					
Rango Temp. Precalen.	400 °F (204 °C)			<b>Gas (QW-408)</b>					
Rango Temp. Entrepas.	400 °F (204 °C)			Gas					
Mantenimiento Precalen.	N/A			Mezcla					
				Flujo					
				Protección					
				Argón					
				100 % Ar.					
				25 CFH					
<b>Características Eléctricas (QW-409)</b>									
Pases de soldadura	Proceso	Clasificación	Diámetro	Tipo y Polaridad	Amperios (Rango)	Voltaje (Rango)	Velocidad de avance (Rango)		
Todas	GTAW	ER90S-B3	1/8"	CDPD	90-275	N/A	Necesario		
Especificación del electrodo de tungsteno				Diámetro material de aporte		1/8"			
				Diámetro del electrodo		1/8"			
				Tobera cerámica		No. 10			
				Porcentaje de torio		2 %			
<b>Técnica (QW-410)</b>									
Cordón recto u oscilado				Oscilado					
Oscilación				Requerido					
Limpieza inicial y entrepases				Cepillado y pulido					
Método del saneado posterior				Pulido					
Paso sencillo o múltiple (por lado)				Múltiple					
Electrodo sencillo o múltiple				Sencillo					
PQR (parte frontal)				PQR no. P5A-P5A					

Continuación de la tabla XI.

PQR (parte trasera)				PQR no. P5A-P5A		
<b>Ensayo de Tensión (QW-150)</b>						
Espécimen no.	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Esfuerzo (PSI)	Tipo de falla
1	1,139	0,578	0,66	3 540	76 288,07	Dúctil fuera de la zona de soldadura
2	1,216	0,578	0,70	3 410	69 287,30	Dúctil fuera de la zona de soldadura
<b>Ensayo de Dobleza Guiado (QW-160)</b>						
Numero de Figura y Tipo		Resultado		Numero de Figura y Tipo		Resultado
QW-462.3(a) Dobleza de cara		Aceptable		QW-462.3(a) Dobleza de raíz		Aceptable
QW-462.3(a) Dobleza de cara		Aceptable		QW-462.3(a) Dobleza de raíz		Aceptable
Nombre del soldador		-		ID		-
Prueba conducida por		Amilcar Osorio		Resultado laboratorio		-
Certificamos que los informes en este registro son correctos y que las soldaduras de prueba fueron preparadas, soldados, y ensayados de acuerdo con los requerimientos de la Sección IX del Código ASME para Calderas y Recipientes a Presión.						
Aprobado por:		Ing. Mario Tobar		Fecha		-

Fuente: elaboración propia.

#### 3.4.8.4. Aprobación de WPS

La Especificación del Procedimiento de Soldar WPS (ver tabla X) aprobó todos los ensayos de calificación, por lo tanto se extiende el respectivo Registro de Calificación del Procedimiento PQR (ver tabla XI).

##### 3.4.8.4.1. Observaciones

El procedimiento de soldadura realizado con GTAW sobre el tubo de material base SA-213T2, aprobaron todos los ensayos de calificación. Esto permite que el WPS sea utilizado en soldaduras de mantenimiento y reparación.

Además cabe resaltar que el soldador queda calificado para realizar la soldadura en obra.

### **3.5. Clasificación de materiales base para calderas y equipos auxiliares**

Los elementos básicos de las calderas tipo Stirling de 1 500 psi son:

- Domo de vapor.
- Domo de lodos.
- Superheater primario.
- Superheater secundario.
- Tubos crossover.
- Tubos de techo.
- Tubos de convección.
- Tubos downcomers hacia cabezal inferior de pared de agua frontal.
- Tubos downcomers hacia cabezal inferior de pared de agua trasera.
- Tubos downcomers hacia cabezal inferior de pared de agua derecha.
- Tubos downcomers hacia cabezal inferior de pared de agua izquierda.
- Tubos de pared de agua frontal.
- Tubos de pared de agua trasera.
- Tubos de pared de agua derecha.
- Tubos de pared de agua izquierda.
- Cabezal derecho superior de pared de agua derecha hacia domo de vapor superior.
- Cabezal izquierdo superior de pared de agua izquierda hacia domo de vapor superior.
- Cabezal inferior de pared de agua frontal.

- Cabezal inferior de pared de agua trasera.
- Cabezal inferior de pared de agua derecha.
- Cabezal inferior de pared de agua izquierda.

Entre los equipos auxiliares de calderas podemos mencionar: las termocoplas, las conexiones estructurales, tuberías de acero inoxidable y tuberías de transporte de vapor.

### 3.5.1. Elección de la Especificación del Procedimiento de Soldar (WPS) aplicable en base al número P del material base

A continuación se presenta la lista de elementos y equipos auxiliares de caldera con la respectiva descripción y el WPS aplicable que le corresponde.

Tabla XII. Elementos de caldera

Elemento	Material base	P-no	Grupo no	Composición nominal	Espesor de pared	WPS aplicable
Domo de vapor	SA-299	1	2	C - Mn - Si	6 11/16"	P1-P1
Domo de lodos	SA-299	1	2	C - Mn - Si	4 11/16"	P1-P1
Superheater primario	SA-178A	1	1	C	0,180"-0,284"	P1-P1
	SA-213T12	4	1	1 Cr - ½ Mo	0,165"-0,284"	P1-P4 P4-P4
	SA-213T22	5A	1	2 ¼ Cr - 1 Mo	0,320"	P5A-P5A
Superheater secundario	SA-213T12	4	1	1 Cr - ½ Mo	0,148"-0,238"	P4-P4
	SA-213T22	5A	1	2 ¼ Cr - 1 Mo	0,255"-0,284"	P5A-P5A
Tubo crossover	SA-210A1	1	1	C - Si	0,240"	P1-P1
Tubo de techo	SA-178A	1	1	C	0,150"	P1-P1
Tubo de convección	SA-178A	1	1	C	0,203"-0,220"	P1-P1

Continuación de la tabla XII.

Tubo downcomer	SA-210A1	1	1	C - Si	0,285"	P1-P1
	SA-106B	1	1	C - Mn - Si	0,328"	
Tubo de pared de agua	SA-178A	1	1	C	0,220"	P1-P1
	SA-192	1	1	C - Si	0,220"	
Cabezal	SA-106B	1	1	C - Mn - Si	1,250"	P1-P1
	SA-516-70	1	2	C - Mn - Si	1,125"	P1-P1

Fuente: elaboración propia

Tabla XIII. **Equipos auxiliares**

Elemento	Material base	P-no.	Grupo no.	Comp. Nom.	Soldar a	Material base	P-no.	Grupo no.	Comp. Nom.	WPS Aplic.
Termocopla	TP304	8	1	18Cr-8Ni			SA-178A	1	1	C
Conexiones de caldera estructural	SA-36	1	1	C-M-Si		SA-36	1	1	C-M-Si	P1-P1
Tubería acero inoxidable	TP304	8	1	18Cr-8Ni		TP304	8	1	18Cr-8Ni	P8-P8
	TP304	8	1	18Cr-8Ni		TP316	8	1	18Cr-14Ni	
	TP316	8	1	18Cr-14Ni		TP316	8	1	18Cr-14Ni	
Tubería de transporte de vapor	SA-213T12	4	1	1Cr-1/2Mo		TP316	8	1	18Cr-14Ni	P4-P8

Fuente: elaboración propia.

En el trabajo de graduación de EPS se realizaron 6 WPS's preliminares para los elementos de caldera y equipos auxiliares y los mismos se pueden consultar en el apéndice 2.

Cabe señalar que el WPS P5A-P5A fue aprobado por el Departamento de Mantenimiento Mayor para el uso en trabajos de construcción y mantenimiento en la planta Las Palmas II de Duke Energy Guatemala.

## **4. FASE DE DOCENCIA: IMPLEMENTACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA**

La implementación de procedimientos en un proceso productivo son efectivos si estos están bien realizados y son relevantes a las necesidades y los objetivos de la empresa. Los procedimientos efectivos abordan necesidades genuinas, haciendo que los empleados estén dispuestos a implementarlos, ya que contribuyen a la eficacia operacional y dan credibilidad al trabajo. Para esto, el personal administrativo debe aprobar primero los procedimientos e implementarlos.

Por lo tanto, es importante explicarle a los empleados por qué es necesario implementar este procedimiento, por qué es bueno no solamente para la empresa sino también para ellos mismos. La capacitación es esencial; sería incorrecto asumir que todos poseen las habilidades y conocimientos para implementar nuevas actividades.

### **4.1. Capacitación**

Es importante mantener al personal capacitado, de manera que puedan apoyarse en ello como ventaja competitiva sobre la competencia. Una de las ventajas de capacitar es preparar al personal para que sepa exactamente lo que va a hacer en el trabajo para evitar errores y confusiones posteriores.

La capacitación está dirigida a los soldadores y ayudantes de soldador. La persona ideal para impartir la capacitación es el supervisor del taller del Departamento de Mantenimiento Mayor. La competencia adecuada para el

capacitador debe ser el manejo adecuado de la Sección II y Sección IX del Código ASME para Calderas y Recipientes a Presión.

#### **4.1.1. Tema de la capacitación: Interpretación de la Especificación del Procedimiento de Soldar (WPS)**

La capacitación ofrece explicaciones y aplicaciones de la Sección IX revisando los conceptos básicos de metalurgia de la soldadura, procesos de soldadura, selección de aportes, y la aplicación con las distintas secciones del Código ASME para Calderas y Recipientes de Presión.

##### **4.1.1.1. Objetivos**

- General
  - Interpretar un WPS calificado bajo el Código ASME para Calderas y Recipientes a Presión.
  
- Específicos
  - Identificar las variables esenciales, esenciales suplementarias y no esenciales de un WPS.
  - Conocer el proceso de calificación de un WPS.

##### **4.1.1.2. Contenido del tema**

- Introducción a la Sección IX del Código ASME para Calderas y Recipientes a Presión.
- ¿Qué es un WPS y PQR?
- Pasos para calificar la Especificación del Procedimiento de Soldar (WPS).

- Contenido de un WPS.
- Número P.
- Definición de variables de soldadura.
- Ejemplo de un WPS.
- Ensayos mecánicos requeridos para calificación del WPS.
- Especímenes de prueba.
- Análisis de ensayo de tensión.
- Análisis de ensayo de dobléz.
- Ejemplo de un PQR.
- Aprobación del WPS.
- Conclusiones.

#### **4.1.2. Programación**

La capacitación tiene una duración prevista de una hora. Este período deberá ser suficiente para abarcar todo el contenido y resolver dudas de los participantes. Caso contrario se extenderá el tiempo suficiente hasta que el contenido quede lo más claro posible.



## CONCLUSIONES

1. La calificación de la Especificación del Procedimiento de Soldar del material SA-213T22 (P5A-P5A) seleccionada por el Departamento de Mantenimiento Mayor sobrepasa todos los criterios de aceptación, para los ensayos de tensión y de dobléz que establece la Sección IX del Código ASME para Calderas y Recipientes a Presión.
2. Es necesario que el procedimiento de soldadura aprobado sea utilizado por el Departamento de Mantenimiento Mayor en trabajos de soldadura, ya sea en el reemplazo o reparación de tubos de supercalentadores secundarios de las calderas de la planta.
3. La implementación de la Especificación del Procedimiento de Soldar P5A-P5A en los trabajos de soldadura garantizará la calidad de la junta soldada.
4. La guía utilizada para la calificación del procedimiento de soldadura se utilizó como base para la elaboración de procedimientos preliminares, para materiales base que conforman los elementos de caldera y equipos auxiliares de la planta para lo cual fue necesario realizar 6 procedimientos de soldadura preliminares.
5. La validación de la Especificación del Procedimiento de Soldar (WPS) permite una optimización de los tiempos de ejecución de soldadura y los materiales requeridos para el mismo.



## RECOMENDACIONES

Al gerente del Departamento de Mantenimiento Mayor

1. Autorizar las calificaciones correspondientes de los 6 procedimientos de soldadura preliminares utilizando la guía para calificar procedimientos, propuesta en este trabajo de graduación de EPS, con el objeto de utilizarlos cuando se presenten trabajos de mantenimiento y reparaciones de los elementos de caldera y equipos auxiliares de la planta.
2. Calificar a los soldadores en los procedimientos de soldadura aprobados con el fin de garantizar que estos realicen soldaduras, que cumplan con los requerimientos del Código ASME para Calderas y Recipientes a Presión en los trabajos que le son adjudicados.

Al supervisor del Departamento de Mantenimiento Mayor

3. Antes de realizar un trabajo de soldadura verificar los procedimientos de soldadura aprobados, y que estos lleven la aprobación del gerente del Departamento de Mantenimiento Mayor con el objeto de disminuir los márgenes de error en el proceso.
4. Entregar una copia del procedimiento de soldadura aprobado al soldador calificado, antes de iniciar un trabajo de mantenimiento y reparación en elementos de caldera y equipos auxiliares.



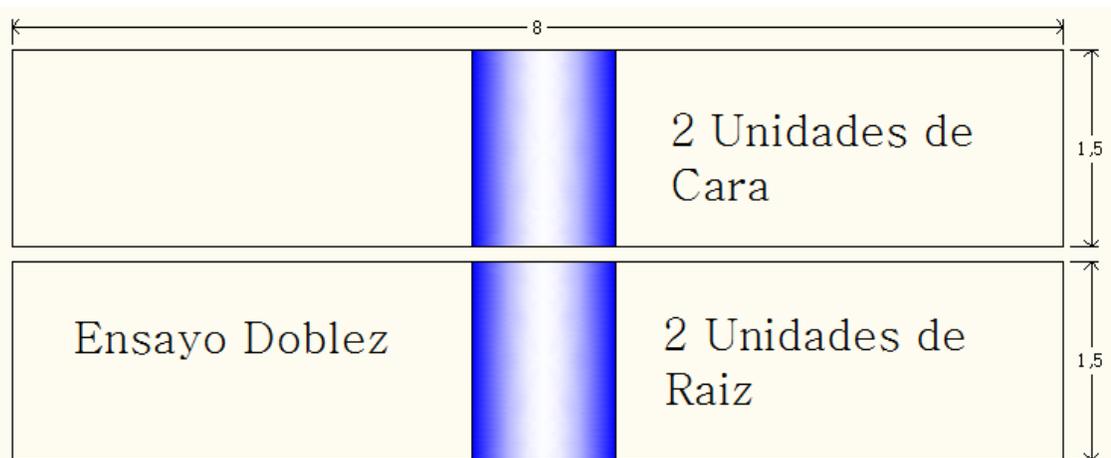
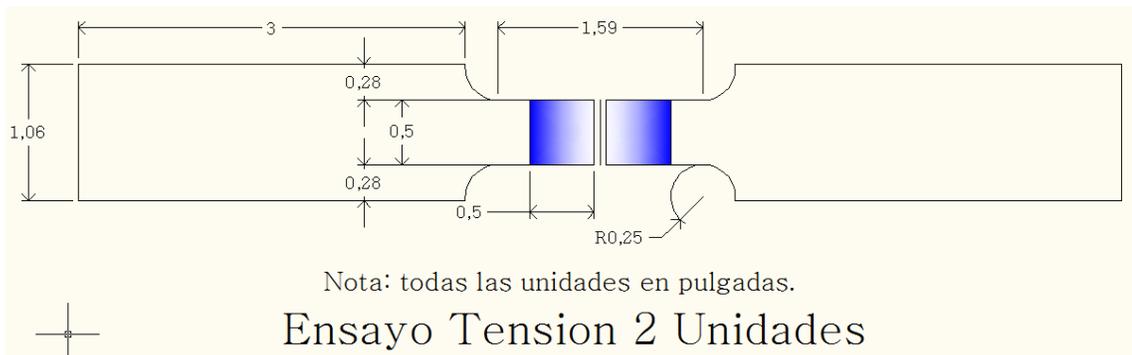
## BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos. *Código ASME para calderas y recipientes a presión, sección II: materiales*. Estados Unidos: ASME Internacional, 2007. 775 p.
2. \_\_\_\_\_. *Código ASME para calderas y recipientes a presión, sección IX: calificaciones de soldadura y soldadura fuerte*. Estados Unidos: ASME Internacional, 2007. 287 p.
3. CENGEL, Yunus; BOLES, Michael. *Termodinámica*. 6a ed. México: McGraw-Hill. 2009. 995 p.
4. HORWITZ, Henry. *Soldadura: aplicaciones y prácticas*. México: Alfaomega, 1990. 777 p.
5. Instituto Americano del Petróleo. *Práctica recomendada 582: guía de soldadura para las industrias químicas, de petróleo y gas*. Estados Unidos: API, 2009. 28 p.
6. KOHAN, Anthony. *Manual de calderas, Vol. 1*. México: McGraw-Hill. 2000. 733 p.

7. NIEBLES, Enrique; ARNEDO, William. *Procedimientos de soldadura y calificación de soldadores: una propuesta de enseñanza y guía de aplicación para la industria.* [en línea] <<http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v20n3/art04.pdf>> [Consulta: 24 de febrero de 2014].

## APÉNDICES

### APÉNDICE 1



Nota: todas las unidades en pulgadas.

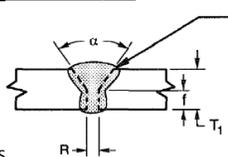
### Ensayo Doblez

2 unidades para ensayo de doblez de cara  
2 unidades para ensayo de doblez de raiz

Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

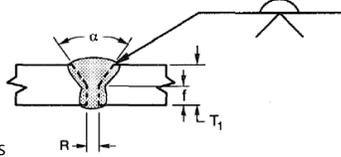
## APÉNDICE 2

### ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDAR (WPS) (Sección IX, ASME Código para Calderas y Recipientes a Presión)

		Fecha		27 de mayo de 2014	
Nombre de la compañía		Planta Las Palmas II Duke Energy Guatemala		Elaborado por Amilcar Osorio	
WPS no.		P1 a P1		PQR soporte no.	
Procedimiento de soldadura		SMAW / GTAW		Tipo Manual	
JUNTA (QW-402)					
Diseño de junta		Ver figuras 1 y 2			
Respaldo		Si		No <input checked="" type="checkbox"/>	
Material de respaldo (tipo)		Solamente metal de soldadura			
Espesor de material ( $T_1$ )		0.180 pulg - 0.284 pulg			
Abertura de raíz (R)		3/32 pulg - 5/32 pulg			
Altura de talón (f)		1/32"			
Angulo de ranura ( $\alpha$ )		60°			
		 <p>Figura 2: medidas</p>			
METALES BASE (QW-403)					
P-no.	1	No. Grupo	1	→	P-no. 1 No. Grupo 1
Orden de espesores	Ranura	0.180 pulg - 0.284 pulg	Filete	N/A	
Máximo espesor de pase > 1/2 pulg. (12.7 mm)	Si		No <input checked="" type="checkbox"/>		
Nota(s) - Materiales base: ver tabla QW/QB-422 de la Sección IX del Código					
METALES DE APORTE (QW-404)					
Proceso	SMAW		SMAW		GTAW
SFA No.	5.1		5.1		5.18
AWS No.	E7016		E7018		ER70S-2
F No.	4		4		6
A No.	1		1		1
Tamaño	3/32"	1/8"	3/32"	1/8"	3/32" 1/8"
Forma	electrodo		electrodo		varilla
Orden de espesor del metal de soldadura					
Nota(s) <ul style="list-style-type: none"> <li>- Selección de metal de aporte: ver tabla A.1 de Welding Guidelines for the Chemical, Oil, and Gas Industries API Recommended Practice 582 Second Edition, December 2009. Key: A</li> <li>- SFA No. 5.1: Specification For Carbon Steel Electrodes For Shielded Metal Arc Welding</li> <li>- SFA No. 5.18: Specification For Carbon Steel Electrodes And Rods For Gas Shielded Arc Welding</li> <li>- No. F: ver QW-432 de la Sección IX del Código</li> <li>- No. A: ver QW-442 de la Sección IX del Código</li> </ul>					

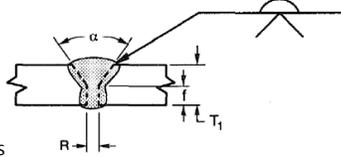
POSICIONES (QW-405)				PRECALENTAMIENTO (QW-406)			
Posición de ranura	Todas			Temperatura de precalentamiento Min.	50° F (10° C)		
Progresión de soldadura	Arriba	x	Abajo	Temperatura de entrepases Max.	50° F (10° C)		
Posición de filete				Mantenimiento de precalentamiento			
				Nota(s)	- Temperatura de precalentamiento: ver A-100 de la Sección I del Código		
TRATAMIENTO TÉRMICO POST-SOLDADURA (QW-407)				GAS (QW-408)			
Rango de temperatura				Composición en por ciento			
Rango de tiempo					Gas	Mezcla	Gasto
Nota(s) - Rango de temperatura y tiempo de aplicación: ver tabla PW-39 de la Sección I del Código				Protección	CO <sub>2</sub>	100% CO <sub>2</sub>	30-50 PCH
				Arrastre			
				Respaldo			
				Nota(s)	- CO <sub>2</sub> = argón - PCH = Pies cúbicos por hora		
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409)							
Pase de soldadura	Proceso	Material de aporte		Corriente		Voltaje (rango)	Velocidad de avance (rango)
		Clasificación	Diámetro	Tipo y polaridad	Amperios (rango)		
Todos	SMAW	E7016	3/32	CA / CDEP	65-110	Requerido	Requerido
			1/8		100-150		
		E7018	3/32	CA / CDEP	70-110		
			1/8		105-155		
	GTAW	ER70S-2	3/32	CDEN	85-130		
			1/8		90-150		
		ER70S-6	3/32	CDEN	85-130		
			1/8		90-150		
Tipo y tamaño del electrodo de tungsteno				Tungsteno 2% torio (punto rojo) de 1/8" de diámetro			
Nota(s) - CA = Corriente Alterna - CDEP = Corriente Directa Electrodo Positivo (Polaridad Inversa) - CDEN = Corriente Directa Electrodo Negativo (Polaridad Directa)							
TÉCNICA (QW-410)							
Cordón recto o cordón de vaivén				Cordón de vaivén			
Tamaño de orificio o de tasa de gas							
Limpieza inicial y entre pases				Cepillado y esmerilado			
Método de cincelado posterior							
Oscilación				Requerido			
Paso múltiple o simple (por lado)				Paso simple por lado			
Electrodos múltiples o simple				Electrodo simple			
Martillado							

ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDAR (WPS)  
(Sección IX, ASME Código para Calderas y Recipientes a Presión)

		Fecha		27 de mayo de 2014	
Nombre de la compañía		Planta Las Palmas II Duke Energy Guatemala		Elaborado por Amilcar Osorio	
WPS no.		P4 a P4		PQR soporte no.	
Procedimiento de soldadura		SMAW / GTAW		Tipo Manual	
JUNTA (QW-402)					
Diseño de junta		Ver figuras 1 y 2			
Respaldo		Si		No x	
Material de respaldo (tipo)		Solamente metal de soldadura			
Espesor de material (T <sub>1</sub> )		0.180 pulg - 0.284 pulg			
Abertura de raíz (R)		3/32 pulg - 5/32 pulg			
Altura de talón (f)		1/32"			
Angulo de ranura (α)		60°			
		 <p align="center">Figura 2: medidas</p>			
METALES BASE (QW-403)					
No. P	4	No. Grupo	1	→	No. P 4 No. Grupo 1
Orden de espesores	Ranura		0.180 pulg - 0.284 pulg	Filete	N/A
Máximo espesor de pase > ½ pulg. (12.7 mm)	Si		No x		
Nota(s)					
- Materiales base: ver tabla QW/QB-422 de la Sección IX del Código					
METALES DE APORTE (QW-404)					
Proceso	SMAW		SMAW	GTAW	
SFA No.	5.5		5.5	5.28	
AWS No.	E8016-B2		E8018-B2	ER80S-B2	
F No.	4		4	6	
A No.	1		1	3	
Tamaño	3/32"	1/8"	3/32"	1/8"	3/32" 1/8"
Forma	electrodo		electrodo	varilla	
Orden de espesor del metal de soldadura					
Nota(s)					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Selección de metal de aporte: ver tabla A.1 de Welding Guidelines for the Chemical, Oil, and Gas Industries API Recommended Practice 582 Second Edition, December 2009. Key: D</li> <li>- SFA No. 5.5: Specification For Low-Alloy Steel Electrodes For Shielded Metal Arc Welding</li> <li>- SFA No. 5.28: Specification For Low-Alloy Steel Electrodes And Rods For Gas Shielded Arc Welding</li> <li>- No. F: ver QW-432 de la Sección IX del Código</li> <li>- No. A: ver QW-442 de la Sección IX del Código</li> </ul>					

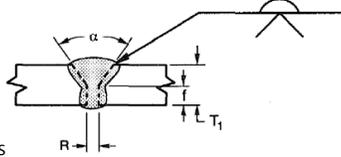
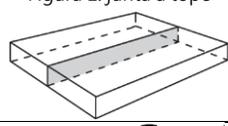
POSICIONES (QW-405)				PRECALENTAMIENTO (QW-406)			
Posición de ranura	Todas			Temperatura de precalentamiento Min.	250 ° F (120 ° C)		
Progresión de soldadura	Arriba	x	Abajo	Temperatura de entrepases Max.	250 ° F (120 ° C)		
Posición de filete				Mantenimiento de precalentamiento			
				Nota(s)	- Temperatura de precalentamiento: ver A-100 de la Sección I del Código		
TRATAMIENTO TÉRMICO POST-SOLDADURA (QW-407)				GAS (QW-408)			
Rango de temperatura				Composición en por ciento			
Rango de tiempo					Gas	Mezcla	Gasto
Nota(s) - Rango de temperatura y tiempo de aplicación: ver tabla PW-39 de la Sección I del Código				Protección	CO <sub>2</sub>	100% CO <sub>2</sub>	30-50 PCH
				Arrastre			
				Respaldo			
				Nota(s)	- CO <sub>2</sub> = argón - PCH = Pies cúbicos por hora		
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409)							
Pase de soldadura	Proceso	Material de aporte		Corriente		Voltaje (rango)	Velocidad de avance (rango)
		Clasificación	Diámetro	Tipo y polaridad	Amperios (rango)		
Todos	SMAW	E8016-B2	3/32	CA / CDEP	65-110	Requerido	Requerido
			1/8		100-150		
		E8018-B2	3/32	CA / CDEP	70-100		
			1/8		115-155		
	GTAW	ER80S-B2	3/32	CDEN	75-140		
			1/8		90-160		
Tipo y tamaño del electrodo de tungsteno				Tungsteno 2% torio (punto rojo) de 1/8" de diámetro			
Nota(s) - CA = Corriente Alterna - CDEP = Corriente Directa Electrodo Positivo (Polaridad Inversa) - CDEN = Corriente Directa Electrodo Negativo (Polaridad Directa)							
TÉCNICA (QW-410)							
Cordón recto o cordón de vaivén				Cordón de vaivén			
Tamaño de orificio o de tasa de gas							
Limpieza inicial y entre pases				Cepillado y esmerilado			
Método de cincelado posterior							
Oscilación				Requerido			
Paso múltiple o simple (por lado)				Paso simple por lado			
Electrodos múltiples o simple				Electrodo simple			
Martillado							

ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDAR (WPS)  
(Sección IX, ASME Código para Calderas y Recipientes a Presión)

		Fecha		27 de mayo de 2014	
Nombre de la compañía		Planta Las Palmas II Duke Energy Guatemala		Elaborado por	
				Amilcar Osorio	
WPS no.		P8 a P8		PQR soporte no.	
Procedimiento de soldadura		SMAW / GTAW		Tipo	
				Manual	
JUNTA (QW-402)					
Diseño de junta		Ver figuras 1 y 2			
Respaldo		Si		No x	
Material de respaldo (tipo)		Solamente metal de soldadura			
Espesor de material (T <sub>1</sub> )		0.180 pulg - 0.284 pulg			
Abertura de raíz (R)		3/32 pulg - 5/32 pulg			
Altura de talón (f)		1/32"			
Angulo de ranura (α)		60°			
		 <p style="text-align: center;">Figura 2: medidas</p>			
METALES BASE (QW-403)					
No. P	8	No. Grupo	1	→	No. P
					8
No. Grupo					No. Grupo
					1
Orden de espesores	Ranura	0.180 pulg - 0.284 pulg	Filete	N/A	
Máximo espesor de pase > ½ pulg. (12.7 mm)	Si		No x		
Nota(s)					
- Materiales base: ver tabla QW/QB-422 de la Sección IX del Código					
METALES DE APORTE (QW-404)					
Proceso	SMAW		SMAW		GTAW
					GTAW
SFA No.	5.4		5.4		5.9
					5.9
AWS No.	E308-15		E316-15		ER308
					ER316
F No.	4		4		6
					6
A No.					
Tamaño	3/32"	1/8"	3/32"	1/8"	3/32"
					1/8"
Forma	electrodo		electrodo		varilla
					varilla
Orden de espesor del metal de soldadura					
Nota(s)					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Selección de metal de aporte: ver tabla A.1 de Welding Guidelines for the Chemical, Oil, and Gas Industries API Recommended Practice 582 Second Edition, December 2009. Key: DF</li> <li>- SFA No. 5.4: Specification For Stainless Steel Electrodes For Shielded Metal Arc Welding</li> <li>- SFA No. 5.9: Specification For Bare Stainless Steel Welding Electrodes And Rods</li> <li>- No. F: ver QW-432 de la Sección IX del Código</li> <li>- No. A: ver QW-442 de la Sección IX del Código</li> <li>- Pueden utilizarse también los electrodos E308L-15, E316L-15, ER308L y ER309L</li> </ul>					

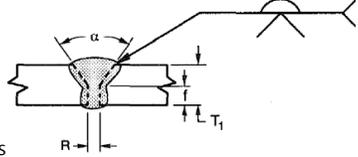
POSICIONES (QW-405)				PRECALENTAMIENTO (QW-406)			
Posición de ranura		Todas		Temperatura de precalentamiento Min.			
Progresión de soldadura		Arriba	x	Abajo	Temperatura de entrepases Max.		
Posición de filete				Mantenimiento de precalentamiento			
				Nota(s) - Temperatura de precalentamiento: ver A-100 de la Sección I del Código			
TRATAMIENTO TÉRMICO POST-SOLDADURA (QW-407)				GAS (QW-408)			
Rango de temperatura				Composición en por ciento			
Rango de tiempo				Gas	Mezcla	Gasto	
Nota(s) - Rango de temperatura y tiempo de aplicación: ver tabla PW-39 de la Sección I del Código				Protección	CO <sub>2</sub>	100% CO <sub>2</sub>	30-50 PCH
				Arrastre			
				Respaldo			
				Nota(s) - CO <sub>2</sub> = argón - PCH = Pies cúbicos por hora			
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409)							
Pase de soldadura	Proceso	Material de aporte		Corriente		Voltaje (rango)	Velocidad de avance (rango)
		Clasificación	Diámetro	Tipo y polaridad	Amperios (rango)		
Todos	SMAW	E308-15	3/32	CDEP	40 - 70	Requerido	Requerido
			1/8		60 - 100		
		E316-15	3/32	CDEP	40 - 70		
			1/8		60 - 100		
	GTAW	ER308	3/32	CDEN	50 - 90		
			1/8		70 - 110		
		ER316	3/32	CDEN	50 - 90		
			1/8		70 - 110		
Tipo y tamaño del electrodo de tungsteno				Tungsteno puro (punto rojo) de 1/8" de diámetro			
Nota(s) - CDEP = Corriente Directa Electrodo Positivo (Polaridad Inversa) - CDEN = Corriente Directa Electrodo Negativo (Polaridad Directa)							
TÉCNICA (QW-410)							
Cordón recto o cordón de vaivén				Cordón de vaivén			
Tamaño de orificio o de tasa de gas							
Limpieza inicial y entre pases				Cepillado y esmerilado			
Método de cincelado posterior							
Oscilación				Requerido			
Paso múltiple o simple (por lado)				Paso simple por lado			
Electrodos múltiples o simple				Electrodo simple			
Martillado							

ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDAR (WPS)  
(Sección IX, ASME Código para Calderas y Recipientes a Presión)

Nombre de la compañía		Planta Las Palmas II Duke Energy Guatemala		Fecha		27 de mayo de 2014		
WPS no.		P1 a P8		Elaborado por		Amilcar Osorio		
Procedimiento de soldadura		SMAW / GTAW		PQR soporte no.				
				Tipo		Manual		
JUNTA (QW-402)								
Diseño de junta		Ver figuras 1 y 2						
Respaldo		Si		No		x		
Material de respaldo (tipo)		Solamente metal de soldadura						
Espesor de material (T <sub>1</sub> )		0.180 pulg - 0.284 pulg						
Abertura de raíz (R)		3/32 pulg - 5/32 pulg						
Altura de talón (f)		1/32"						
Angulo de ranura (α)		60°						
		 <p style="text-align: center;">Figura 2: medidas</p>						
		 <p style="text-align: center;">Figura 1: junta a tope</p>						
METALES BASE (QW-403)								
No. P	1	No. Grupo	1	→	No. P	8	No. Grupo	1
Orden de espesores	Ranura		0.180 pulg - 0.284 pulg		Filete		N/A	
Máximo espesor de pase > ½ pulg. (12.7 mm)	Si				No		x	
Nota(s)								
- Materiales base: ver tabla QW/QB-422 de la Sección IX del Código								
METALES DE APORTE (QW-404)								
Proceso	SMAW		SMAW		GTAW		GTAW	
No. SFA	5.4		5.4		5.9		5.9	
No. AWS	E309-15		E309L-15		ER309		ER309L	
No. F	4		4		6		6	
No. A								
Tamaño	3/32"	1/8"	3/32"	1/8"	3/32"	1/8"	3/32"	1/8"
Forma	electrodo		electrodo		varilla		varilla	
Orden de espesor del metal de soldadura								
Nota(s)								
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Selección de metal de aporte: ver tabla A.1 de Welding Guidelines for the Chemical, Oil, and Gas Industries API Recommended Practice 582 Second Edition, December 2009. Key: A</li> <li>- SFA No. 5.4: Specification For Stainless Steel Electrodes For Shielded Metal Arc Welding</li> <li>- SFA No. 5.9: Specification For Bare Stainless Steel Welding Electrodes And Rods</li> <li>- No. F: ver QW-432 de la Sección IX del Código</li> <li>- No. A: ver QW-442 de la Sección IX del Código</li> </ul>								

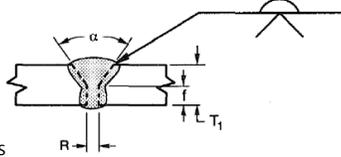
POSICIONES (QW-405)					PRECALENTAMIENTO (QW-406)			
Posición de ranura	Todas				Temperatura de precalentamiento Min.			
Progresión de soldadura	Arriba	x	Abajo		Temperatura de entrepases Max.			
Posición de filete	N/A				Mantenimiento de precalentamiento			
					Nota(s) - Temperatura de precalentamiento: ver A-100 de la Sección I del Código			
TRATAMIENTO TÉRMICO POST-SOLDADURA (QW-407)					GAS (QW-408)			
Rango de temperatura					Composición en por ciento			
Rango de tiempo						Gas	Mezcla	Gasto
Nota(s) - Rango de temperatura y tiempo de aplicación: ver tabla PW-39 de la Sección I del Código					Protección	CO <sub>2</sub>	100% CO <sub>2</sub>	30-50 PCH
					Arrastre			
					Respaldo			
					Nota(s) - CO <sub>2</sub> = argón - PCH = Pies cúbicos por hora			
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409)								
Pase de soldadura	Proceso	Material de aporte		Corriente		Voltaje (rango)	Velocidad de avance (rango)	
		Clasificación	Diámetro	Tipo y polaridad	Amperios (rango)			
Todos	SMAW	E309-15	3/32	CDEP	60 - 90	Requerido	Requerido	
			1/8		80 - 120			
		E309L-15	3/32	CDEP	60 - 90			
			1/8		80 - 120			
	GTAW	ER309	3/32	CDEN	100 - 130			
			1/8		120 - 150			
		ER309L	3/32	CDEN	100 - 130			
			1/8		120 - 150			
Tipo y tamaño del electrodo de tungsteno				Tungsteno puro (punto rojo) de 1/8" de diámetro				
Nota(s) - CDEP = Corriente Directa Electrodo Positivo (Polaridad Inversa) - CDEN = Corriente Directa Electrodo Negativo (Polaridad Directa)								
TÉCNICA (QW-410)								
Cordón recto o cordón de vaivén					Cordón de vaivén			
Tamaño de orificio o de tasa de gas								
Limpieza inicial y entre pases					Cepillado y esmerilado			
Método de cincelado posterior								
Oscilación								
Paso múltiple o simple (por lado)					Paso simple por lado			
Electrodos múltiples o simple					Electrodo simple			
Martillado								

ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDAR (WPS)  
(Sección IX, ASME Código para Calderas y Recipientes a Presión)

		Fecha		27 de mayo de 2014	
Nombre de la compañía		Planta Las Palmas II Duke Energy Guatemala		Elaborado por Amilcar Osorio	
WPS no.		P1 a P4		PQR soporte no.	
Procedimiento de soldadura		SMAW / GTAW		Tipo Manual	
JUNTA (QW-402)					
Diseño de junta		Ver figuras 1 y 2			
Respaldo		(Si)	(No)	x	
Material de respaldo (tipo)		Solamente metal de soldadura			
Espesor de material ( $T_1$ )		0.180 pulg - 0.284 pulg			
Abertura de raíz (R)		3/32 pulg - 5/32 pulg			
Altura de talón (f)		1/32"			
Angulo de ranura ( $\alpha$ )		60°			
		 <p style="text-align: center;">Figura 2: medidas</p>			
METALES BASE (QW-403)					
No. P	1	No. Grupo	1	→	No. P 4 No. Grupo 1
Orden de espesores	Ranura		0.180 pulg - 0.284 pulg	Filete	N/A
Máximo espesor de pase > 1/2 pulg. (12.7 mm)	(Si)		(No)	x	
Nota(s)					
- Materiales base: ver tabla QW/QB-422 de la Sección IX del Código					
METALES DE APORTE (QW-404)					
Proceso	SMAW		SMAW	GTAW	GTAW
No. SFA	5.1		5.5	5.28	
No. AWS	E7018		E8018-B2	ER80S-B2	
No. F	4		4	6	
No. A	1		1	3	
Tamaño	3/32"	1/8"	3/32"	1/8"	
Forma	electrodo		electrodo	varilla	
Orden de espesores					
Nota(s)					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Selección de metal de aporte: ver tabla A.1 de Welding Guidelines for the Chemical, Oil, and Gas Industries API Recommended Practice 582 Second Edition, December 2009. Key: AD</li> <li>- SFA No. 5.1: Specification For Carbon Steel Electrodes For Shielded Metal Arc Welding</li> <li>- SFA. No 5.5: Specification For Low-Alloy Steel Electrodes For Shielded Metal Arc Welding</li> <li>- SFA No. 5.28: Specification For Low-Alloy Steel Electrodes And Rods For Gas Shielded Arc Welding</li> <li>- No. F: ver QW-432 de la Sección IX del Código</li> <li>- No. A: ver QW-442 de la Sección IX del Código</li> </ul>					

POSICIONES (QW-405)				PRECALENTAMIENTO (QW-406)			
Posición de ranura	Todas			Temperatura de precalentamiento Min.	250 ° F (120 ° C)		
Progresión de soldadura	Arriba	x	Abajo	Temperatura de entrepases Max.	250 ° F (120 ° C)		
Posición de filete	N/A			Mantenimiento de precalentamiento			
				Nota(s)	- Temperatura de precalentamiento: ver A-100 de la Sección I del Código		
TRATAMIENTO TÉRMICO POST-SOLDADURA (QW-407)				GAS (QW-408)			
Rango de temperatura				Composición en por ciento			
Rango de tiempo					Gas	Mezcla	Gasto
Nota(s) - Rango de temperatura y tiempo de aplicación: ver tabla PW-39 de la Sección I del Código				Protección	CO <sub>2</sub>	100% CO <sub>2</sub>	30-50 PCH
				Arrastre			
				Respaldo			
				Nota(s)	- CO <sub>2</sub> = argón - PCH = Pies cúbicos por hora		
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409)							
Pase de soldadura	Proceso	Material de aporte		Corriente		Voltaje (rango)	Velocidad de avance (rango)
		Clasificación	Diámetro	Tipo y polaridad	Amperios (rango)		
Todos	SMAW	E7018	3/32	CA / CDEP	70-110	Requerido	Requerido
			1/8		105-155		
		E8018-B2	3/32	CA / CDEP	70-100		
			1/8		115-155		
	GTAW	ER80S-B2	3/32	CDEN	75-140		
			1/8		90-160		
Tipo y tamaño del electrodo de tungsteno				Tungsteno 2% torio (punto rojo) de 1/8" de diámetro			
Nota(s) - CA = Corriente Alterna - CDEP = Corriente Directa Electrodo Positivo (Polaridad Inversa) - CDEN = Corriente Directa Electrodo Negativo (Polaridad Directa)							
TÉCNICA (QW-410)							
Cordón recto o cordón de vaivén				Cordón de vaivén			
Tamaño de orificio o de tasa de gas							
Limpieza inicial y entre pases				Cepillado y esmerilado			
Método de cincelado posterior							
Oscilación				Requerido			
Paso múltiple o simple (por lado)				Paso simple por lado			
Electrodos múltiples o simple				Electrodo simple			
Martillado							

ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDAR (WPS)  
(Sección IX, ASME Código para Calderas y Recipientes a Presión)

		Fecha		27 de mayo de 2014	
Nombre de la compañía		Planta Las Palmas II Duke Energy Guatemala		Elaborado por Amilcar Osorio	
WPS no.		P4 a P8		PQR soporte no.	
Procedimiento de soldadura		SMAW		Tipo Manual	
JUNTA (QW-402)					
Diseño de junta		Ver figuras 1 y 2			
Respaldo		(Si) <input type="checkbox"/>		(No) <input checked="" type="checkbox"/> x	
Material de respaldo (tipo)		Solamente metal de soldadura			
Espesor de material ( $T_1$ )		0.180 pulg - 0.284 pulg			
Abertura de raíz (R)		3/32 pulg - 5/32 pulg			
Altura de talón (f)		1/32"			
Angulo de ranura ( $\alpha$ )		60°			
		 <p style="text-align: center;">Figura 2: medidas</p>			
METALES BASE (QW-403)					
No. P		4		No. Grupo 1	
Orden de espesores		Ranura		0.180 pulg - 0.284 pulg	
Máximo espesor de pase > 1/2 pulg. (12.7 mm)		(Si) <input type="checkbox"/>		(No) <input checked="" type="checkbox"/> x	
Nota(s)		- Materiales base: ver tabla QW/QB-422 de la Sección IX del Código			
METALES DE APORTE (QW-404)					
Proceso		SMAW			
No. SFA		5.11			
No. AWS		ENiCrFe-2			
No. F		43			
No. A					
Tamaño		3/32"		1/8"	
Forma		electrodo			
Orden de espesores					
Nota(s)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Selección de metal de aporte: ver tabla A.1 de Welding Guidelines for the Chemical, Oil, and Gas Industries API Recommended Practice 582 Second Edition, December 2009. Key: AD</li> <li>- SFA No. 5.11: Specification For Nickel And Nickel-Alloy Welding Electrodes For Shielded Metal Arc Welding</li> <li>- No. F: ver QW-432 de la Sección IX del Código</li> <li>- No. A: ver QW-442 de la Sección IX del Código</li> </ul>			

POSICIONES (QW-405)				PRECALENTAMIENTO (QW-406)			
Posición de ranura	Todas			Temperatura de precalentamiento Min.	250 ° F (120 ° C)		
Progresión de soldadura	Arriba	x	Abajo	Temperatura de entrepases Max.	250 ° F (120 ° C)		
Posición de filete	N/A			Mantenimiento de precalentamiento			
				Nota(s)	- Temperatura de precalentamiento: ver A-100 de la Sección I del Código		
TRATAMIENTO TÉRMICO POST-SOLDADURA (QW-407)				GAS (QW-408)			
Rango de temperatura				Composición en por ciento			
Rango de tiempo					Gas	Mezcla	Gasto
Nota(s) - Rango de temperatura y tiempo de aplicación: ver tabla PW-39 de la Sección I del Código				Protección			
				Arrastre			
				Respaldo			
				Nota(s)	- CO <sub>2</sub> = argón - PCH = Pies cúbicos por hora		
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409)							
Pase de soldadura	Proceso	Material de aporte		Corriente		Voltaje (rango)	Velocidad de avance (rango)
		Clasificación	Diámetro	Tipo y polaridad	Amperios (rango)		
Todos	SMAW	ENiCrFe-2	3/32	CDEN	45-70	Requerido	Requerido
			1/8		80-110		
Tipo y tamaño del electrodo de tungsteno							
Nota(s) - CDEN = Corriente Directa Electrodo Negativo (Polaridad Directa)							
TÉCNICA (QW-410)							
Cordón recto o cordón de vaivén				Cordón de vaivén			
Tamaño de orificio o de tasa de gas							
Limpieza inicial y entre pases				Cepillado y esmerilado			
Método de cincelado posterior							
Oscilación				Requerido			
Paso múltiple o simple (por lado)				Paso simple por lado			
Electrodos múltiples o simple				Electrodo simple			
Martillado							

Fuente: elaboración propia.



## ANEXOS

### ANEXO 1

<b>Datos de soldadura</b>	
<b>VARIABLES DE SOLDADURA PARA PROCESO SMAW</b>	
QW-402 Juntas	
QW-402.1 Diseño de ranura (variable no esencial)	Un cambio en el tipo de ranura (de ranura V, de ranura U, de bisel simple, de bisel doble, etc.).
QW-402.4 Respaldo (variable no esencial)	La eliminación del respaldo en soldaduras en ranura de soldadura simple. Las soldaduras en ranura soldadas doblemente son consideradas soldaduras con respaldo.
QW-402.10 Espaciamiento de raíz (variable no esencial)	Un cambio en el espaciamiento especificado de raíz.
QW-402.11 Retenes (variable no esencial)	La adición o supresión de retenes no metálicos o de retenes metálicos que no se funden.
QW-403 Metales Base	
QW-403.5 Numero de Grupo (variable esencial suplementaria)	Se harán calificaciones de procedimiento de soldar usando un metal base del mismo tipo o grado de otro metal base puesto en lista en el mismo Número P y mismo Número de Grupo (vea QW-422) que el metal que se va a usar en soldadura de producción. Se hará una calificación de procedimiento para cada combinación de Número P y de Número de Grupo de metales base, aun cuando se hayan hecho pruebas de calificación de procedimiento para cada uno de los dos metales bases soldado a sí mismo.
QW-403.6 T Limites impacto (variable esencial suplementaria)	El espesor mínimo de metal base calificado es el espesor de $T$ de muestra de prueba ó 5/8 pulg., cualquiera que sea menos. Sin embargo, donde $T$ es menos que 1/4 pulg., el espesor mínimo calificado es de $1/2 T$ . Esta limitación no se aplica cuando una WPS se califica con una PWHT arriba de la temperatura de transformación superior ó cuando un material austenítico se recuece en solución después de soldar.
QW-403.7 Limites $T/t > 8$ pulg. (variable esencial)	Para los procesos de pasos múltiples de arco metálico protegido, de arco sumergido, de arco de tungsteno con gas, y de arco metálico con gas, el espesor máximo calificado para 1 1/2 pulg. y más, el espesor $T$ de la muestra de prueba de QW-451.1 será de 8 pulg. para las condiciones mostradas en

	QW-451.1. Para espesores mayores de 8 pulg., los espesores máximos de metal base y de metal de soldadura calificados son $1.33T$ ó $1.33t$ , como sea aplicable.
QW-403.8 T Calificado (variable esencial)	Un cambio en espesor de metal base más allá del orden calificado en QW-451, excepto como se permite de otro modo en QW-202.4 (b).
QW-403.9 Paso $t > \frac{1}{2}$ pulg. (variable esencial)	Para soldadura de paso simple o de pasos múltiples en la cual cualquier paso es mayor de $\frac{1}{2}$ pulg. de espesor, un aumento en espesor de metal base más allá de 1.1 multiplicado por aquel de la muestra de prueba de calificación.
QW-403.11 No. P calificado (variable esencial)	Los metales base especificados en la WPS serán calificados mediante una prueba de calificación de procedimiento que se hizo usando metales base de acuerdo con QW-424.
QW-403.13 No. P 5/9/10 (variable esencial)	Un cambio de un Número P-5 a cualquier otro No. P-5 (o sea No. P-5A a No. P-5B o No. P-5C o inversamente). Un cambio de No. P-9A a No. P-9B pero no lo inverso. Un cambio de un Número P-10 a cualquier otro No. P-10C (o sea No. P-10A a No. P-10B ó No. P-10C, etc, o inversamente).
QW-404 Metales de Aporte	
QW-404.4 Numero F (variable esencial)	Un cambio de un Número F de QW-432 a otro Número F o a cualquier otro metal de aporte no puesto en lista en QW-432.
QW-404.5 Numero A (variable esencial)	(Aplicable sólo a metales ferrosos). Un cambio en la composición química del depósito de soldadura de un Número A a cualquier otro Número A de QW-422. La calificación con un No. A-1 calificará para el No. A-2 e inversamente. En lugar de una designación de Número A, la composición química nominal del depósito de soldadura será indicada en la WPS y en el PQR. La designación de composición química nominal puede también ser por referencia a la clasificación de AWS (en donde tal exista), la designación de comercio del fabricante, u otros documentos de procuración establecidos.
QW-404.6 Diámetro (variable no esencial)	Un cambio en el tamaño nominal del electrodo o electrodos especificado en la WPS.
QW-404.7 Diam. $> \frac{1}{4}$ pulg. (variable esencial suplementaria)	Un cambio en el diámetro nominal del electrodo hasta más de $\frac{1}{4}$ pulg. Esta limitación no se aplica cuando una WPS se califica con un PWHT arriba de la temperatura de transformación superior ó cuando un material austenítico se recuece en solución después de soldar.
QW-404.12 Clase AWS (variable esencial suplementaria)	Un cambio en la clasificación de metal de aporte de especificación de SFA ó a un metal de aporte no cubierto por una especificación de SFA, ó de un metal de aporte no cubierto por una especificación de SFA a otro metal de aporte que no está cubierto

	por una especificación de SFA.
QW-404.30 t (variable esencial)	Un cambio en el espesor de metal de soldadura depositado más allá del orden calificado en QW-451 para calificación de procedimiento o QW-452 para calificación de habilidad, excepto como se permite en otra manera en QW-303.1 y QW-303.2. Cuando un soldador se califica usando radiografía, se aplican los órdenes de espesores de QW-452.1.
QW-404.33 Clase AWS (variable no esencial)	Un cambio en la clasificación de metal de aporte de especificación de SFA, o, si no en conformidad con una clasificación de metal de aporte de AWS, un cambio en el nombre comercial del fabricante para el electrodo o metal de aporte.
QW-405 Posiciones	
QW-405.1 Posición (variable no esencial)	La adición de otras posiciones de soldar que aquellas ya calificadas. Vea QW-120, QW-130, y QW-303.
QW-405.2 Posición (variable esencial suplementaria)	Un cambio de cualquier posición respecto a la progresión hacia arriba de posición vertical. La progresión hacia arriba vertical (p.ej., posición 3G, 5G, ó 6G) califica para todas las posiciones. En la progresión hacia arriba, un cambio de cordón longitudinal a cordón en vaivén. Esta limitación no se aplica cuando una WPS se aplica con una PWHT arriba de la temperatura de transformación superior ó cuando un material austenítico se recuece en solución después de soldar.
QW-405.3 Soldadura vertical (variable no esencial)	Un cambio a partir de hacia arriba para hacia abajo, o a partir de hacia abajo para hacia arriba, en la progresión especificada para cualquier paso de una soldadura vertical, excepto que el paso de cubrir o de lavar puede ser para arriba o para abajo. El paso de raíz puede también correrse ya sea para arriba o para abajo cuando el paso de raíz es removido hasta metal de soldadura sano en la preparación para soldar el segundo lado.
QW-406 Pre calentamiento	
QW-406.1 Disminución > 100 °F (variable esencial)	Una disminución de más de 100°F en la temperatura de pre calentamiento calificada. La temperatura mínima para soldadura será especificada en la WPS.
QW-406.2 Mant. pre calent. (variable no esencial)	Un cambio en mantenimiento o reducción de pre calentamiento a la terminación de la soldadura antes de cualquier tratamiento térmico requerido posterior a soldadura.
QW-406.3 Aumento > 100 °F (variable esencial suplementaria)	Un aumento de más de 100°F en la temperatura máxima de entre pasos registrados en el PQR. Esta limitación no se aplica cuando una WPS se califica con una PWHT arriba de la temperatura de transformación superior ó cuando un material austenítico se recuece en solución después de soldar.

QW-407 PWHT	
QW-407.1 PWHT (variable esencial)	<p>Se requiere PQR separado para cada una de las condiciones siguientes.</p> <p>(a) Para materiales de No. P-1, No. P-3, No. P-4, No. P-5, No. P-6, No. P-9, No. P-10 y No. P-11, se aplican las condiciones siguientes de tratamiento térmico posterior a soldadura:</p> <p>(1) Nada de PWHT;</p> <p>(2) PWHT abajo de la temperatura más baja de transformación;</p> <p>(3) PWHT arriba de la temperatura más alta de transformación (p. ej., normalización);</p> <p>(4) PWHT arriba de la temperatura más alta de transformación seguido por tratamiento térmico debajo de la temperatura más baja de transformación (p. ej., normalización o templado seguido por revenido);</p> <p>(5) PWHT entre temperaturas más alta y más baja de transformación.</p> <p>(b) Para todos los otros materiales, se aplican las condiciones de tratamiento térmico siguientes posterior a soldadura:</p> <p>(1) Nada de PWHT;</p> <p>(2) PWHT dentro de un orden especificado de temperaturas.</p>
QW-407.2 PWHT (T y serie T) [variable esencial suplementaria]	Un cambio en el orden de temperaturas y tiempos de tratamiento térmico posterior a soldadura (vea QW-407.1) requiere un PQR.
QW-407.4 T limites (variable esencial)	Para muestra de prueba (PQR) que recibe un tratamiento térmico posterior a soldadura en el cual la temperatura más alta de transformación es excedida, el espesor máximo calificado para soldaduras de producción es 1.1 multiplicado por el espesor de la muestra de prueba.
QW-409 Características Eléctricas	
QW-409.1 > Gasto de calor (variable esencial suplementaria)	<p>Un aumento en consumo de calor, o un aumento en el volumen de metal de soldadura depositado por unidad de longitud de soldadura, sobre de aquello calificado. El aumento se puede medir mediante cualquiera de los siguientes:</p> <p>(a) Consumo de calor (J/pulg.)=  <math display="block">\frac{\text{Voltaje} \times \text{Amperaje} \times 60}{\text{Velocidad de recorrido (pulg./min.)}}</math> </p>
QW-409.4 Corriente o polaridad (variable esencial suplementaria y no esencial)	Un cambio de ca a cd, o inversamente; y en soldadura de cd, un cambio de electrodo negativo (polaridad directa) a electrodo positivo (polaridad inversa), o al contrario.
QW-409.8 Serie I y E (variable no esencial)	Un cambio en el o el orden de amperaje, o excepto para soldadura SMAW y GTAW, un cambio en el orden de voltaje. Un cambio en el orden de la velocidad de alimentación de alambre de electrodo

	se puede usar como una opción respecto al amperaje.
<b>QW-410 Técnica</b>	
QW-410.1 Cordón/vaivén (variable no esencial)	Un cambio de la técnica con cordón corrido longitudinal a la técnica de cordón en vaivén, o lo contrario.
QW-410.5 Método de limpieza (variable no esencial)	Un cambio en el método de limpieza inicial y entre pasos (cepillado, esmerilado, etc.)
QW-410.6 Método de cincelado posterior (variable no esencial)	Un cambio en el método de cincelado posterior.
QW-410.25 Manual o automático (variable no esencial)	Un cambio de soldadura manual o semiautomática a soldadura con máquina o automática y en forma inversa.
QW-410.26 Martillado (variable no esencial)	La adición o supresión de martillado.

Fuente: ASME 2007. *Sección IX QW-400*. p. 60.

## ANEXO 2

<b>Datos de soldadura</b>	
<b>Variables de soldadura para proceso GTAW</b>	
QW-402 Juntas	
QW-402.1 Diseño de ranura (variable no esencial)	Un cambio en el tipo de ranura (de ranura V, de ranura U, de bisel simple, de bisel doble, etc.).
QW-402.5 Respaldo (variable no esencial)	La adición de un respaldo o un cambio en su composición nominal.
QW-402.10 Espaciamiento de raíz (variable no esencial)	Un cambio en el espaciamiento especificado de raíz.
QW-402.11 Retenes (variable no esencial)	La adición o supresión de retenes no metálicos o de retenes metálicos que no se funden.
QW-403 Metales Base	
QW-403.5 Numero de Grupo (variable esencial suplementaria)	Se harán calificaciones de procedimiento de soldar usando un metal base del mismo tipo o grado de otro metal base puesto en lista en el mismo Número P y mismo Número de Grupo (vea QW-422) que el metal que se va a usar en soldadura de producción. Se hará una calificación de procedimiento para cada combinación de Número P y de Número de Grupo de metales base, aun cuando se hayan hecho pruebas de calificación de procedimiento para cada uno de los dos metales bases soldado a sí mismo.
QW-403.6 T Limites impacto (variable esencial suplementaria)	El espesor mínimo de metal base calificado es el espesor de $T$ de muestra de prueba ó 5/8 pulg., cualquiera que sea menos. Sin embargo, donde $T$ es menos que 1/4 pulg., el espesor mínimo calificado es de $\frac{1}{2} T$ . Esta limitación no se aplica cuando una WPS se califica con una PWHT arriba de la temperatura de transformación superior ó cuando un material austenítico se recuece en solución después de soldar.
QW-403.7 Limites $T/t > 8$ pulg. (variable esencial)	Para los procesos de pasos múltiples de arco metálico protegido, de arco sumergido, de arco de tungsteno con gas, y de arco metálico con gas, el espesor máximo calificado para 1½ pulg. y más, el espesor $T$ de la muestra de prueba de QW-451.1 será de 8 pulg. para las condiciones mostradas en QW-451.1. Para espesores mayores de 8 pulg., los espesores máximos de metal base y de metal de soldadura calificados son $1.33T$ ó $1.33t$ , como sea aplicable.
QW-403.8 T Calificado (variable esencial)	Un cambio en espesor de metal base más allá del orden calificado en QW-451, excepto como se permite de otro modo en QW-202.4 (b).
QW-403.11 No. P calificado (variable esencial)	Los metales base especificados en la WPS serán calificados mediante una prueba de calificación de

	procedimiento que se hizo usando metales base de acuerdo con QW-424.
QW-403.13 No. P 5/9/10 (variable esencial)	Un cambio de un Número P-5 a cualquier otro No. P-5 (o sea No. P-5A a No. P-5B o No. P-5C o inversamente). Un cambio de No. P-9A a No. P-9B pero no lo inverso. Un cambio de un Número P-10 a cualquier otro No. P-10C (o sea No. P-10A a No. P-10B ó No. P-10C, etc, o inversamente).
QW-404 Metales de Aporte	
QW-404.3 Tamaño (variable no esencial)	Un cambio en el tamaño de metal de aporte.
QW-404.4 Numero F (variable esencial)	Un cambio de un Número F de QW-432 a otro Número F o a cualquier otro metal de aporte no puesto en lista en QW-432.
QW-404.5 Numero A (variable esencial)	(Aplicable sólo a metales ferrosos). Un cambio en la composición química del depósito de soldadura de un Número A a cualquier otro Número A de QW-422. La calificación con un No. A-1 calificará para el No. A-2 e inversamente. En lugar de una designación de Número A, la composición química nominal del depósito de soldadura será indicada en la WPS y en el PQR. La designación de composición química nominal puede también ser por referencia a la clasificación de AWS (en donde tal exista), la designación de comercio del fabricante, u otros documentos de procuración establecidos.
QW-404.12 Clase AWS (variable esencial suplementaria)	Un cambio en la clasificación de metal de aporte de especificación de SFA ó a un metal de aporte no cubierto por una especificación de SFA, ó de un metal de aporte no cubierto por una especificación de SFA a otro metal de aporte que no está cubierto por una especificación de SFA.
QW-404.14 Aporte (variable esencial)	La eliminación o adición de metal de aporte.
QW-404.22 Met. inserto consum. (variable no esencial)	La omisión o adición de metales insertos consumibles. La calificación en una junta a tope soldada simplemente, con o sin metales insertos consumibles, califica para soldaduras con filete y para juntas a tope soldadas simplemente con respaldo o juntas a tope doblemente soldadas.
QW-404.23 Forma de producto de metal de aporte (variable esencial)	Un cambio de una de las siguientes formas de producto de metal de aporte a otra: (a) con núcleo de fundente (b) desnudo (sólido) o con núcleo de metal (c) polvo
QW-404.30 t (variable esencial)	Un cambio en el espesor de metal de soldadura depositado más allá del orden calificado en QW-451 para calificación de procedimiento o QW-452 para calificación de habilidad, excepto como se permite en otra manera en QW-303.1 y QW-303.2. Cuando un soldador se califica usando radiografía, se aplican los órdenes de espesores de QW-452.1.
QW-404.33 Clase AWS (variable no esencial)	Un cambio en la clasificación de metal de aporte

	de especificación de SFA, o, si no en conformidad con una clasificación de metal de aporte de AWS, un cambio en el nombre comercial del fabricante para el electrodo o metal de aporte.
<b>QW-405 Posiciones</b>	
QW-405.1 Posición (variable no esencial)	La adición de otras posiciones de soldar que aquellas ya calificadas. Vea QW-120, QW-130, y QW-303.
QW-405.2 Posición (variable esencial suplementaria)	Un cambio de cualquier posición respecto a la progresión hacia arriba de posición vertical. La progresión hacia arriba vertical (p.ej., posición 3G, 5G. ó 6G) califica para todas las posiciones. En la progresión hacia arriba, un cambio de cordón longitudinal a cordón en vaivén. Esta limitación no se aplica cuando una WPS se aplica con una PWHT arriba de la temperatura de transformación superior ó cuando un material austenítico se recuece en solución después de soldar.
QW-405.3 Soldadura vertical (variable no esencial)	Un cambio a partir de hacia arriba para hacia abajo, o a partir de hacia abajo para hacia arriba, en la progresión especificada para cualquier paso de una soldadura vertical, excepto que el paso de cubrir o de lavar puede ser para arriba o para abajo. El paso de raíz puede también correrse ya sea para arriba o para abajo cuando el paso de raíz es removido hasta metal de soldadura sano en la preparación para soldar el segundo lado.
<b>QW-406 Precalentamiento</b>	
QW-406.1 Disminución > 100 °F (variable esencial)	Una disminución de más de 100°F en la temperatura de precalentamiento calificada. La temperatura mínima para soldadura será especificada en la WPS.
QW-406.3 Aumento > 100 °F (variable esencial suplementaria)	Un aumento de más de 100°F en la temperatura máxima de entre pasos registrados en el PQR. Esta limitación no se aplica cuando una WPS se califica con una PWHT arriba de la temperatura de transformación superior ó cuando un material austenítico se recuece en solución después de soldar.
<b>QW-407 PWHT</b>	
QW-407.1 PWHT (variable esencial)	Se requiere PQR separado para cada una de las condiciones siguientes. (a) Para materiales de No. P-1, No. P-3, No. P-4, No. P-5, No. P-6, No. P-9, No. P-10 y No. P-11, se aplican las condiciones siguientes de tratamiento térmico posterior a soldadura: (1) Nada de PWHT; (2) PWHT abajo de la temperatura más baja de transformación; (3) PWHT arriba de la temperatura más alta de transformación (p. ej., normalización); (4) PWHT arriba de la temperatura más alta de

	<p>transformación seguido por tratamiento térmico debajo de la temperatura más baja de transformación (p. ej., normalización o templeado seguido por revenido);</p> <p>(5) PWHT entre temperaturas más alta y más baja de transformación.</p> <p>(b) Para todos los otros materiales, se aplican las condiciones de tratamiento térmico siguientes posterior a soldadura:</p> <p>(1) Nada de PWHT;</p> <p>(2) PWHT dentro de un orden especificado de temperaturas.</p>
QW-407.2 PWHT (T y serie T) [variable esencial suplementaria)	Un cambio en el orden de temperaturas y tiempos de tratamiento térmico posterior a soldadura (vea QW-407.1) requiere un PQR.
QW-407.4 T limites (variable esencial)	Para muestra de prueba (PQR) que recibe un tratamiento térmico posterior a soldadura en el cual la temperatura más alta de transformación es excedida, el espesor máximo calificado para soldaduras de producción es 1.1 multiplicado por el espesor de la muestra de prueba.
QW-408 Gas	
QW-408.1 Arrastre o comp. (variable no esencial)	La adición o eliminación de gas de arrastre y protección y/o un cambio en su composición.
QW-408.2 Simple, mezcla o % (variable esencial)	Se requiere un PQR separado para cada una de las condiciones que siguen: (a) un cambio de un simple gas de protección a cualquier otro simple gas de protección; (b) un cambio de un simple gas de protección a una mezcla de gases de protección, e inversamente; (c) un cambio en la composición de porcentaje especificado de una mezcla de gas de protección; (d) la adición u omisión de gas de protección.
QW-408.3 Gasto (variable no esencial)	Un cambio en el orden especificado del gasto del gas o de mezcla de gases de protección.
QW-408.5 Flujo de respaldo (variable no esencial)	La adición o eliminación de respaldo de gas, un cambio en composición de gas de respaldo, o un cambio en el orden especificado de gasto del gas de respaldo.
QW-408.9 Respaldo o comp. (variable esencial)	Para soldaduras en ranura de No. P-4X y todas las soldaduras de metales de No. P-5X, No. P-6X, No. P-10I, No. P-10J, y No. P-10K, la eliminación de gas de respaldo o un cambio en la composición nominal del gas de respaldo de un gas inerte a una mezcla que incluya gas(es) no inerte(s).
QW-408.10 Protección o arrastre (variable esencial)	Para metales de No. P-10I, No. P-5X, y No. P-6X, la eliminación de gas de arrastre y protección, un cambio en la composición de gas de arrastre, o una disminución del 10% ó más en el de gasto de gas de arrastre.
QW-409 Características Eléctricas	

QW-409.1 > Gasto de calor (variable esencial suplementaria)	Un aumento en consumo de calor, o un aumento en el volumen de metal de soldadura depositado por unidad de longitud de soldadura, sobre de aquello calificado. El aumento se puede medir mediante cualquiera de los siguientes: (a) Consumo de calor (J/pulg.)= $\frac{\text{Voltaje} \times \text{Amperaje} \times 60}{\text{Velocidad de recorrido (pulg./min.)}}$
QW-409.3 I de pulsación (variable no esencial)	La adición o eliminación de corriente de pulsación a fuente de energía de cd.
QW-409.4 Corriente o polaridad (variable esencial suplementaria y variable no esencial)	Un cambio de ca a cd, o inversamente; y en soldadura de cd, un cambio de electrodo negativo (polaridad directa) a electrodo positivo (polaridad inversa), o al contrario.
QW-409.8 Serie I y E (variable no esencial)	Un cambio en el o el orden de amperaje, o excepto para soldadura SMAW y GTAW, un cambio en el orden de voltaje. Un cambio en el orden de la velocidad de alimentación de alambre de electrodo se puede usar como una opción respecto al amperaje.
QW-409.12 Electrodo de Tungsteno (variable no esencial)	Un cambio en tipo o tamaño de electrodo de tungsteno.
<b>QW-410 Técnica</b>	
QW-410.1 Cordón/vaivén (variable no esencial)	Un cambio de la técnica con cordón corrido longitudinal a la técnica de cordón en vaivén, o lo contrario.
QW-410.3 Tamaño orificio, taza o boquilla (variable no esencial)	Un cambio en el tamaño de orificio, de taza, o de boquilla.
QW-410.5 Método de limpieza (variable no esencial)	Un cambio en el método de limpieza inicial y entre pasos (cepillado, esmerilado, etc.)
QW-410.6 Método de cincelado posterior (variable no esencial)	Un cambio en el método de cincelado posterior.
QW-410.7 Oscilación (variable no esencial)	Un cambio en ancho, frecuencia, o tiempo de residencia de la oscilación, sólo para soldadura con máquina o automática.
QW-410.9 Multi- a paso simple/lado (variable esencial suplementaria y no esencial)	Un cambio de paso múltiple por lado a paso simple por lado. Esta limitación no se aplica cuando una WPS se aplica con una PWHT arriba de la temperatura de transformación superior ó cuando un material austenítico se recuece en solución después de soldar.
QW-410.10 Simple a multielectrodos (variable esencial suplementaria y no esencial)	Un cambio de electrodo simple a electrodo múltiple, o lo inverso, sólo para soldadura con máquina o automática. Esta limitación no se aplica cuando una WPS se aplica con una PWHT arriba de la temperatura de transformación superior ó cuando un material austenítico se recuece en solución después de soldar.
QW-410.11 Cámara cerrada afuera de (variable esencial)	Un cambio de soldadura con soplete convencional de cámara cerrada a fuera de cámara en metales de No. P-5X, pero no al contrario.
QW-410.15 Espaciamiento electrodos (variable no esencial)	Un cambio en el espaciamiento de electrodos

esencial)	múltiples para soldadura con máquina o automática.
QW-410.25 Manual o automático (variable no esencial)	Un cambio de soldadura manual o semiautomática a soldadura con máquina o automática y en forma inversa.
QW-410.26 Martillado (variable no esencial)	La adición o supresión de martillado.

Fuente: ASME 2007. Sección IX QW-400. p. 60.

## ANEXO 3



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



### PROBETAS

O.T. No.32906

INFORME No. 217-M

INTERESADO: MYNOR AMILCAR OSORIO CONTRERAS, CARNE No. 200815415  
 PROYECTO: EPS "IMPLIMENTACION DE SOLDADURA PARA ELEMENTOS DE CALDERAS ACUOTUBULARES DE 1500 PSI Y EQUIPOS AUXILIARES BASADOS EN EL CODIGO ASME PARA CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESION, EN PLANTA GENERADORA LAS PALMAS II DUKE ENERGY GUATEMALA".

ASUNTO: ENSAYO DE TENSION Y DOBLADO A PROBETAS DE ACERO

PROVEEDOR: \*\*\*\*\*

FECHA: GUATEMALA, 08 DE MAYO DE 2014.

#### ANTECEDENTES

El estudiante Mynor Amilcar Osorio Contreras con No. de carne 200815415 refirió a este Centro de Investigaciones de Ingeniería, 06 probetas de acero, con el objeto de realizarles ensayo a tensión y ensayo de doblado hasta la falla.

#### RESULTADOS

##### Ensayo de Tensión

Numero correlativo	Ancho (cm)	Espesor (cm)	área (cm <sup>2</sup> )	carga (kg)	Esfuerzo			TIPO DE FALLA
					kg/cm2	Mpa	PSI	
01	1.139	0.578	0.66	3540	5363.64	526.00	76288.07	MATERIAL BASE
02	1.216	0.578	0.70	3410	4871.43	477.72	69287.30	MATERIAL BASE

##### Ensayo de doblado

Numero correlativo	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Carga	
			Kg	lbs
01	3.40	0.575	600	1322.76
02	3.15	0.571	500	1102.30
03	3.30	0.572	540	1190.48
04	3.10	0.560	420	925.93

#### Nota

-Por ser los resultados datos de carga última, se recomienda utilizar el factor de seguridad que recomienda el fabricante.

Ing. Pablo Christian De León Rodríguez  
Jefe de Metales y Productos  
Manufacturados

USAC  
/cbr

Atentamente,

Vo.Bo.  
Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA C.I.I.



Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII  
Ciudad Universitaria, Zona 12. Edificio T5, Nivel 2  
Tel. (502) 24189100. Extensión: 1595

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.