



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

**APLICACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS POR LA EMPRESA PSMI, S. A. PARA
DETERMINAR LA CALIDAD DE FABRICACIÓN, ARMADO Y APLICACIONES DE
SOLDADURA EN TUBERÍA DE VAPOR DE ESCAPE SEGÚN NORMA ASME B31.3**

Fernando Andrés Segura Oliva

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, noviembre de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**APLICACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS POR LA EMPRESA PSMI, S. A. PARA
DETERMINAR LA CALIDAD DE FABRICACIÓN, ARMADO Y APLICACIONES DE
SOLDADURA EN TUBERÍA DE VAPOR DE ESCAPE SEGÚN NORMA ASME B31.3**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

FERNANDO ANDRÉS SEGURA OLIVA

ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo 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 Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio César Campos Paiz
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
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:

APLICACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS POR LA EMPRESA PSMI, S. A. PARA DETERMINAR LA CALIDAD DE FABRICACIÓN, ARMADO Y APLICACIONES DE SOLDADURA EN TUBERÍA DE VAPOR DE ESCAPE SEGÚN NORMA ASME B31.3

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 14 de marzo de 2014.



Fernando Andrés Segura Oliva



Guatemala, 01 de octubre de 2014
REF.EPS.DOC.1023.10.14.

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 **Fernando Andrés Segura Oliva** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 200715105, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **APLICACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS POR LA EMPRESA PSMI, S.A. PARA DETERMINAR LA CALIDAD DE FABRICACIÓN, ARMADO Y APLICACIONES DE SOLDADURA EN TUBERÍA DE VAPOR DE ESCAPE SEGÚN NORMA ASME B31.3.**

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 López
Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica



c.c. Archivo
EESZ/ra



Guatemala, 01 de octubre de 2014
REF.EPS.D.567.10.14

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: **APLICACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS POR LA EMPRESA PSMI, S.A. PARA DETERMINAR LA CALIDAD DE FABRICACIÓN, ARMADO Y APLICACIONES DE SOLDADURA EN TUBERÍA DE VAPOR DE ESCAPE SEGÚN NORMA ASME B31.3**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Fernando Andrés Segura Oliva** 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





USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.Mecanica.260.2014

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 **APLICACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS POR LA EMPRESA PSMI, S.A. PARA DETERMINAR LA CALIDAD DE FABRICACIÓN, ARMADO Y APLICACIONES DE SOLDADURA EN TUBERÍA DE VAPOR DE ESCAPE SEGÚN NORMA ASME B31.3**, del estudiante **Fernando Andrés Segura Oliva**, con número de carnet **200715105**, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Julio Cesar Campos Paiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, septiembre 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: **APLICACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS POR LA EMPRESA PSMI, S.A. PARA DETERMINAR LA CALIDAD DE FABRICACIÓN, ARMADO Y APLICACIONES DE SOLDADURA EN TUBERÍA DE VAPOR DE ESCAPE SEGÚN NORMA ASME B31.3**, presentado por el estudiante universitario: **Fernando Andrés Segura Oliva** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
Decano en Funciones

Guatemala, noviembre de 2014



/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser el supremo creador del universo y por haber guiado mis pasos desde mis primeros años e iluminar mi mente dándome, conocimiento, entendimiento, inteligencia, sabiduría y convertir lo que en mi niñez era un sueño, hoy es una realidad.
- Mis padres** Héctor Segura y Marlitz Oliva, por su incondicional apoyo en los momentos difíciles, que esta meta cumplida retribuya en mínima parte el infinito amor con el que me han arropado.
- Mi hermano** Héctor Segura, por el apoyo moral, académico y personal, mil gracias por todo.
- Mis abuelos** Carlos Oliva y Raúl Segura Oliva, por el gran ejemplo que me han dado.
- Mis abuelas** Ninfa Lucas y Aurora Corzo, por el gran cariño y afecto que me brindaron, su recuerdo sigue presente en nuestros corazones.

Mi madrina

Josefa Lucas, por su gran amor y siempre estar a mi lado, su recuerdo y enseñanzas sigue vivos en mi corazón.

Mi asesor

Ing. Enrique Gálvez, por su excelente apoyo y orientación en mi trabajo de graduación.

Mis amigos

Elmer Castro, Michael Gómez, Juan López, Ángel Ovalle, Cristian Molina, Fredy Gómez, Josué Coy, Jasmin López, Fernando Vicente, Juan Rosales, por su amistad y apoyo durante todos estos años.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. La empresa.....	1
1.1.1. Descripción	1
1.1.2. Ubicación	2
1.1.3. Misión	3
1.1.4. Visión.....	4
1.1.5. Política de calidad.....	4
1.1.6. Valores	5
1.2. Definiciones básica.....	6
1.3. Descripción de códigos y normas a utilizar durante la fabricación de tubería.	8
1.3.1. Código ASME	8
1.3.1.1. Definición.....	8
1.3.1.2. Sección V: Ensayos No Destructivos...	10

1.3.1.3.	Sección IX: calificación de procedimientos de soldadura y uniones fuertes, soldadores, brazer y de operadores de soldadura y uniones fuertes.....	11
1.3.2.	Norma ASME B31.3	12
1.3.3.	Norma AWWA	14
1.3.3.1.	Definición.....	14
1.3.3.2.	Norma AWWA C-200: estándar para tubería de agua de acero 6 pulgadas (150 mm) en adelante	14
1.4.	Descripción de fabricación de tubería de vapor de escape.....	15
1.4.1.	Desarrollo geométrico en tubería y accesorios	15
1.4.1.1.	Desarrollo geométrico de tubos.....	15
1.4.1.2.	Desarrollo de un codo de cuatro piezas a 90°.....	16
1.4.1.3.	Desarrollo geométrico de CAP	17
1.4.2.	Escuadre de lámina.....	18
1.4.3.	Preparación de bordes	19
1.4.3.1.	Borde recto.....	21
1.4.3.2.	Borde en V	21
1.4.3.3.	Borde en X	22
1.4.3.4.	Borde en U o en doble U	22
1.4.4.	Armado de juntas	23
1.4.4.1.	Juntas a tope.....	23
1.4.4.2.	Juntas a traslape o de monta	24
1.4.4.3.	Junta en T	25
1.4.4.4.	Junta en ángulo.....	26
1.5.	Rolado de lámina	27

1.6.	Soldadura	29
1.6.1.	Soldadura metálica con arco protegido	29
1.6.2.	Soldadura metálica con arco eléctrico y gas	31
2.	AHORRO ENERGÉTICO	35
2.1.	¿Qué es el ahorro energético?	35
2.2.	Medida de ahorro energético	35
2.2.1.	Iluminación.....	36
2.2.2.	Equipos eléctricos.....	37
2.2.3.	Equipos industriales.....	38
2.2.4.	Sistema de acondicionamiento de aire	39
2.2.5.	Buena práctica de consumo energético.....	42
3.	ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN LA FABRICACIÓN , ARMADO Y PROCESO DE SOLDADURA.....	43
3.1.	¿Qué son los Ensayos No Destructivos?	43
3.2.	Objetivos de los Ensayos No Destructivos	43
3.3.	Clasificación de Ensayos No Destructivos.....	44
3.3.1.	Ensayos superficiales	44
3.3.1.1.	Inspección visual (VT).	45
3.3.1.2.	Líquidos penetrantes (PT)	47
3.3.1.3.	Partículas magnéticas (MT)	59
3.3.1.4.	Corrientes de Eddy (ET)	63
3.3.2.	Ensayos volumétricos.....	68
3.3.2.1.	Radiografía industrial (RT).....	68
3.3.2.2.	Ultrasonido industrial (UT)	73
3.3.2.3.	Emisión Acústica (AE)	79
3.3.3.	Ensayos de hermeticidad	81
3.3.3.1.	Prueba de fugas	82

3.3.3.2.	Pruebas de fuga hidrostáticas	84
3.3.3.3.	Prueba de fuga neumática	87
3.3.3.4.	Prueba de vacío	88
4.	CONTROL DE LA CALIDAD EN FABRICACIÓN, ARMADO Y PROCESO DE SOLDADURA EN TUBERÍA DE VAPOR DE ESCAPE	91
4.1.	Control de calidad	91
4.1.1.	¿Qué es control de calidad?.....	91
4.1.2.	Importancia del control de calidad.....	91
4.1.3.	Descripción del control de calidad durante las etapas de fabricación, armado y aplicación de soldadura en tubería de vapor de escape según Norma ASME B31.3	92
4.1.4.	Control de calidad en la fabricación, armado y aplicaciones de soldadura en tubería de vapor de escape.....	95
4.1.4.1.	Verificación de materia prima e insumos	95
4.1.4.2.	Diseño de procedimiento de soldadura (WPS)	97
4.1.4.3.	Calificación del procedimiento de soldadura (PQR)	104
4.1.4.4.	Calificación del desempeño del soldador (WPQ).....	107
4.1.4.5.	Verificación dimensional y bisel de lámina.....	108
4.1.4.6.	Verificación de conformación del rol	111

4.1.4.7.	Verificación de juntas circunferenciales y longitudinales.	113
4.1.4.8.	Verificación geométrica en tubería de vapor de escape	116
4.1.4.9.	Verificación de procesos de soldadura.....	118
4.1.4.10.	Muestreo por END volumétrico.....	122
5.	CONTROL ESTADÍSTICO DE LA CALIDAD	125
5.1.	¿Qué es el control estadístico de la calidad?	125
5.2.	Objetivo del control estadístico de la calidad en un proceso.....	125
5.3.	Conceptos básicos de control estadístico de la calidad en un proceso.....	125
5.3.1.	Muestreo de aceptación	126
5.3.2.	Gráficos de control estadístico.....	128
5.3.2.1.	Gráficos de control por variables	130
5.4.	Aplicación de control estadístico en procesos de fabricación, armado y aplicaciones de soldadura en tubería de vapor de escape.	134
5.4.1.	Control estadístico en verificación dimensional de lámina.	135
5.4.2.	Control estadístico en verificación de bisel de lámina	138
5.4.3.	Control estadístico en verificación geométrica de tubería.	141
5.4.4.	Control estadístico en verificación geométrica de redondez.....	141

5.4.5.	Control estadístico en verificación geométrica de rectitud.....	145
5.4.6.	Control estadístico en END volumétrico	150
5.5.	Análisis e interpretación de resultados del control estadístico en la fabricación, armado y aplicaciones de soldadura en tubería de vapor de escape.	154
5.5.1.	Análisis e interpretación de resultados en verificación de longitud lámina.	155
5.5.2.	Análisis e interpretación de resultados de verificación de bisel de lámina.....	156
5.5.3.	Análisis e interpretación de resultados de verificación geométrica de tubería.....	158
5.5.3.1.	Resultado de verificación geométrica de redondez	158
5.5.3.2.	Resultado de verificación geométrica de rectitud.....	160
5.5.4.	Resultados de END volumétrico.....	162
5.6.	Resultados de control de calidad durante los procesos de fabricación armado y aplicación de soldadura.	166
5.7.	Plan de mejoramiento de la calidad en la fabricación de tubería de vapor de escape.....	168
5.7.1.	Capacitaciones permanentes para personal operativo.....	168
5.7.2.	Establecer prácticas adecuadas de almacenamiento y manejo de material de aporte.	169
5.7.3.	Hacer compras basándose en la calidad, no en el precio.....	170
5.7.4.	Creación de hojas de verificación:.....	171

CONCLUSIONES	173
RECOMENDACIONES	175
BIBLIOGRAFÍA.....	177
ANEXOS.....	179

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación de plata en Escuintla	2
2.	Diagrama ilustrativo de aplicaciones de ASME B31.3 para tuberías y equipos.....	13
3.	Desarrollo geométrico de tubos	16
4.	Desarrollo geométrico de codos de cuatro piezas a 90°	17
5.	Desarrollo geométrico de CAP	18
6.	Esquema representativo para la preparación de bordes.....	20
7.	Borde recto.....	21
8.	Borde en V	21
9.	Borde en X	22
10.	Borde en U	23
11.	Junta a tope	24
12.	Junta a traslape o de monta.....	25
13.	Junta en T	26
14.	Junta en ángulo.....	26
15.	Esquema del proceso de rolado.....	28
16.	Soldadura metálica con arco protegido	31
17.	Soldadura metálica con arco eléctrico y gas	32
18.	Principio de la inspección por líquidos penetrantes	48
19.	Clasificación de los líquidos penetrantes	49
20.	Diagrama de bloques de inspección por líquidos penetrantes	57
21.	Principio de la inspección por partículas magnéticas.....	60
22.	Principio de la inspección por corrientes de Eddy	65

23.	Arreglo radiográfico convencional.....	69
24.	Principio de la inspección por ultrasonido.....	77
25.	Principio de la prueba de vacío.....	88
26.	Diagrama de control de calidad durante fabricación, armado y aplicaciones de soldadura	94
27.	Estampa de lámina ASTM A-36.....	96
28.	Diseño de juntas	98
29.	Ensayo de doblez	106
30.	Medidas de lámina para fabricación de tubería	109
31.	Especificaciones de bisel de lámina	110
32.	Verificación de bisel de lámina	110
33.	Puntos de verificación de conformación de rol	111
34.	Verificación de conformación de rol.....	112
35.	Medición de abertura de raíz	113
36.	Verificación de desalineamiento radial.....	114
37.	Mal traslape de juntas.....	115
38.	Traslape de juntas según diseño	116
39.	Verificación geométrica de redondez.....	117
40.	Verificación de rectitud.....	118
41.	Muestreo por END volumétricos	123
42.	Ejemplo de gráfica de control	129
43.	Gráfica de medias para longitud de láminas.....	137
44.	Gráfica de rangos para longitud de tubería.....	137
45.	Gráfica de medias en medición de ángulo de bisel.....	140
46.	Control de rangos en medición de ángulo de bisel	141
47.	Gráfica de medias en verificación geométrico en redondez	144
48.	Gráfica de rangos en verificación geométrica en redondez	145
49.	Gráfica de medias en verificación geométrica de rectitud.....	149
50.	Gráfica de rangos en verificación geométrica de rectitud	150

51.	Gráfica de medias de longitud con defectos de soldadura.....	153
52.	Gráfica de rangos de longitud con defectos de soldadura.	154
53.	Resultados de control de calidad en verificación de longitud de lámina.	156
54.	Resultados de control de calidad en verificación de ángulo de bisel de lámina.....	158
55.	Resultados de verificación geométrica de redondez.....	160
56.	Resultados de verificación geométrica de rectitud.....	161
57.	Principales defectos encontrados en cordones de soldadura.....	163
58.	Resultado de calidad en la soldadura de vapor de escape.....	165
59.	Resultados de verificación por END volumétrico.....	166
60.	Determinación de la calidad de los diferentes procesos de fabricación en tubería de vapor de escape.	167

TABLAS

I.	Métodos y abreviaturas respectivas utilizadas dentro del alcance de la sección V.....	11
II.	Tipos de pruebas de fugas.....	83
III.	Metal base.....	99
IV.	Clasificación de metal de aporte.....	100
V.	Especificación de la posición de soldadura.....	101
VI.	Especificación de precalentamiento de metal base.....	102
VII.	Especificaciones de tratamiento térmico postsoldadura.....	102
VIII.	Porcentaje de composición de gases.....	103
IX.	Descripción de la técnica de soldadura.....	103
X.	Descripción de características eléctricas.....	104
XI.	Resultados de prueba de tensión.....	106
XII.	Resultados de prueba de dobléz.....	107

XIII.	Criterios de aceptación de soldadura	120
XIV.	Criterios de soldadura.....	121
XV.	Datos obtenidos en verificación dimensional de lámina	135
XVI.	Datos obtenidos en verificación de bisel de lámina	138
XVII.	Datos obtenidos en verificación geométrica de redondez	142
XVIII.	Datos obtenidos en verificación geométrica de rectitud.....	146
XIX.	Datos de longitud de defectos encontrados en cordones de soldadura.....	151
XX.	Diferencia entre valores de control de longitud de lámina	155
XXI.	Verificación de ángulos de bisel	157
XXII.	Resultados de verificación geométrica de redondez	159
XXIII.	Longitud de soldadura con defecto.....	162
XXIV.	Principales defectos encontrados en cordones de soldadura.....	163

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperaje
AC	Corriente alterna
DC	Corriente directa
σ	Desviación estándar
t	Espesor de lámina
°	Grados
°C	Grado Celsius
°F	Grado Fahrenheit
Hz	Hertz
lb	Libras
psi	Libras por pulgada cuadrada
m	Metros
mm	Milímetros
'	Pies
CFH	Pies cúbicos por hora
%	Porcentaje
μ	Promedio
“	Pulgadas
Σ	Sumatoria
V	Voltaje
“	Pulgadas

GLOSARIO

- ASME** American Society of Mechanical Engineers o Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, es la asociación de profesionales de la ingeniería que ha generado un código de diseño, construcción, inspección y pruebas para diversos equipos como: calderas, recipientes a presión, materiales, entre otros.
- API** American Petroleum Institute o Instituto Americano del Petróleo, es la única asociación comercial que representa a todos los aspectos de la industria del petróleo y gas natural de Estados Unidos.
- AWS** American Welding Society o Sociedad Americana de Soldadura, es una organización sin fines de lucro que tiene como objetivo avanzar en la ciencia, la tecnología y la aplicación de soldadura y disciplinas afines.
- AWWA** American Water Works Association o Asociación Americana de obras de agua, es la mayor asociación sin fines de lucro, científica y educativa dedicada a la gestión y tratamiento del agua, recurso más importante del mundo.

Capilaridad	Es una propiedad de los fluidos que depende de su tensión superficial la cual, a su vez, depende de la cohesión del líquido y que le confiere la capacidad de subir o bajar por un tubo capilar.
Cilindro truncado	Es el cilindro que se obtiene a partir de un cilindro recto, intersectado con un plano no paralelo a la base.
Electroimán	Es un tipo de imán en el que el campo magnético se produce mediante el flujo de una corriente eléctrica, desapareciendo cuando cesa dicha corriente.
END	Ensayos no destructivos.
Ferromagnetismo	Es un fenómeno físico en el que se produce ordenamiento magnético de todos los momentos magnéticos de una muestra.
Isotopos	Se denomina isotopos a los átomos de un mismo elemento, cuyos nucleos tienen una cantidad diferente de neutrones, y por lo tanto, difieren en número másico.
Macroscópica	Sistemas observables sin necesidad de utilizar aparatos de aumento. También se aplica a la física que estudia un determinado sistema sin tener en cuenta su constitución microscópica.

PQR	Procedure Qualification Record o registro de calificación de procedimiento de soldadura.
WPQ	Welder Performance Qualification o Clasificación del Rendimiento del Soldador.
WPS	Welding Procedure Specification o Especificación de Procedimiento de soldadura.

RESUMEN

PSMI, S. A., es una empresa que se ha dedicado por más de veinticuatro años a desarrollar proyectos de metal mecánica y montajes industriales en el territorio nacional. A través de los años, la organización ha perfeccionado técnicas e implementado procesos que mejoran la calidad de los productos entregados, cumpliendo y sobrepasando las expectativas de sus clientes.

En el campo de trabajo se diseñan y fabrican piezas en diversos materiales, principalmente aceros al carbón y aceros inoxidable. Entre estos productos se encuentran tubos, codos, reductores, tee, caps entre otros.

Inicialmente, la empresa no había puesto en marcha un plan de control de calidad durante el proceso de fabricación de tubería de vapor de escape. En consecuencia se generaron rechazos por parte del cliente y esto llevó a incrementar costos de producción debido a reproceso y reparaciones. Las deficiencias de calidad hicieron evidente la necesidad de establecer un proyecto por medio del cual, se implemente un plan de control de calidad para la fabricación en taller.

Con la aplicación de ensayos no destructivos, se desea determinar la calidad en los procesos de fabricación, armado y aplicación de soldadura en la tubería de vapor de escape, según Norma ASME B31.3, para poder garantizar de esta manera que la tubería y accesorios no presenten fallas que puedan poner en riesgo su integridad.

OBJETIVOS

General

Mejorar la calidad del trabajo de fabricación de tubería de vapor de escape mediante la aplicación de ensayos no destructivos de acuerdo a Norma ASME B31.3.

Específicos

1. Establecer la calidad de fabricación, armado y aplicaciones de soldadura, basándose en el estudio de los resultados obtenidos en la severidad de la discontinuidad y/o defectos encontrados. Todo esto de acuerdo a lo requerido por la norma de calidad y de diseño.
2. Crear un plan de mejoramiento de control de calidad en la fabricación de tubería de vapor de escape.
3. Diseñar formatos para el control de calidad en los diferentes procesos que estén involucrados en la fabricación de la tubería.
4. Evaluar los procesos de fabricación de tubería, analizar los problemas y plantear soluciones con base en los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Mecánica

INTRODUCCIÓN

La industria del metal en Guatemala ha crecido de forma exponencial en la última década, este crecimiento hace que las empresas busquen estrategias de consolidación para aferrarse al mercado y lograr sobrevivir. Una de estas estrategias es la mejora continua de sus procesos, de forma que, estos sean más eficientes y no impacten significativamente los costos de producción.

PSMI, S. A. es una empresa dedicada a la fabricación de estructuras metálicas, tanques y diversos proyectos de montajes industriales directamente relacionados con la industria guatemalteca. La producción de piezas especiales como tubos, codos y reducidos hizo que PSMI, S. A., aplicará un plan de control de calidad, dadas las exigencias de todas las normativas internacionales con las que tiene que cumplir actualmente la empresa para poder vender sus productos terminados.

Con la aplicación de ensayos no destructivos en la fabricación, armado y aplicaciones de soldadura en tubería de vapor de escape, se obtendrá información del estado de las piezas durante las diferentes etapas del proceso productivo.

Los métodos de ensayos no destructivos permiten el control del 100 por ciento de una producción y pueden brindar información de todo el volumen de una pieza, con lo que contribuyen a mantener un nivel alto de calidad, con la consiguiente conservación y aseguramiento de la calidad funcional de los sistemas y elementos.

En el presente trabajo de graduación se determinara la calidad en la fabricación, armado y aplicaciones de soldadura de tubería de vapor de escape tomando como referencia la Norma ASME B31.3 para definir cuáles serán los criterios de aplicación, aceptación y rechazo de los ensayos no destructivos durante los diferentes procesos. A la vez se diseñará un plan de mejoramiento de la calidad en la planta de producción, con la que busca mejorar la calidad en los diferentes procesos que se ejecutan en esta durante la fabricación de piezas.

1. ANTECEDENTES GENERALES

Descripción de información pertinente de PSMI, S. A. adicionalmente se presenta información conceptual sobre los temas de importancia para la comprensión óptima del proyecto.

1.1. La empresa

Una empresa es una organización, institución o industria dedicada a actividades o persecución de fines económicos o comerciales para satisfacer las necesidades de bienes o servicios de los demandantes.

A continuación se presentan los datos generales de PSMI, S. A.

1.1.1. Descripción

Proyectos, Servicios y Montajes Industriales S. A. (PSMI, S. A.) fue fundada en 1989, por el señor Álvaro Ixpatá de Paz, posteriormente, en 2000, la dirección de la empresa se heredó a sus hijos, los ingenieros Álvaro y Mario Ixpatá Ordóñez. Es una empresa dedicada a trabajos en metal mecánica, soldadura industrial especializada y montajes en general.

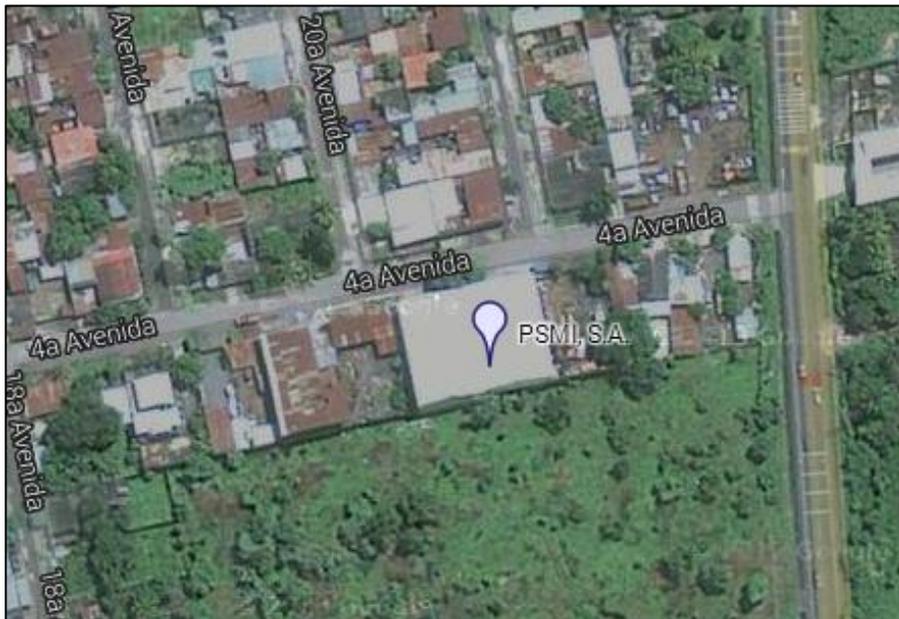
A través de los años, PSMI, S. A. ha tenido a bien desarrollar proyectos en diversas ramas de la ingeniería, tales como: fabricación de tanques de almacenamiento de hidrocarburos, fabricación y montaje de tuberías de alta y baja presión, fabricación y montaje de estructuras metálicas industriales, reparación de calderas, otros.

En la actualidad, los servicios ofrecidos se han diversificado, incursionando en el campo de ensayos no destructivos, incluyendo dentro de estos: ultrasonido industrial, ensayo de partículas magnéticas, ensayo de líquidos penetrantes y medición de espesores.

1.1.2. Ubicación

PSMI, S.A. cuenta con una planta de producción en el departamento de Escuintla. Está ubicado en la 1ª. avenida lote 4, sección D, colonia Hunapú, donde también se encuentran ubicadas sus oficinas administrativas, adicionalmente, cuenta con oficinas y bodegas móviles, puesto que, dependiendo de la naturaleza del proyecto a desarrollar, es necesario establecer un campamento temporal en cada lugar.

Figura 1. Ubicación de plata en Escuintla



Fuente: Google Maps. Consulta: 28 abril de 2014.

1.1.3. Misión

Misión es la razón de ser de la empresa, el motivo por el cual existe. Así mismo es la determinación de las funciones básicas que la empresa va a desempeñar en un entorno determinado para conseguir tal misión.

La misión se define: “la necesidad a satisfacer, los clientes del segmento de mercado, productos y servicios a ofertar.”

- Características de una misión: las características que debe tener una misión son: amplia, concreta, motivadora y posible.
- Elementos que complementan la misión: con la misión se conocerá el negocio al que se dedica la empresa en la actualidad, y hacia qué negocios o actividades puede encaminar su futuro, por lo tanto también debe ir de la mano con la visión y los valores.
- Visión: es un elemento complementario de la misión que impulsa y dinamiza las acciones que se lleven a cabo en la empresa. Ayudando a que el propósito estratégico se cumpla.
- Valores: en la misión también deben estar involucrados los valores y principios que tienen las empresas, para que todo aquel que tenga algo que ver con la organización (trabajadores, competidores, clientes, otros.) sepa las características de la misma.

Por lo tanto la misión de la empresa es: crear soluciones y satisfacer necesidades de nuestros clientes, utilizando las herramientas de ingeniería y empleando recurso humano altamente profesional para brindar confiabilidad en los servicios y productos.

1.1.4. Visión

La visión se refiere a lo que la empresa quiere crear, la imagen futura de la organización. Es creada por la persona encargada de dirigir la empresa, y quien tiene que valorar e incluir en su análisis muchas de las aspiraciones de los agentes que componen la organización, tanto internos como externos.

Una vez que se tiene definida la visión de la empresa, todas las acciones se fijan en este punto y las decisiones y dudas se aclaran con mayor facilidad. Todo miembro que conozca bien la visión de la empresa, puede tomar decisiones acorde con ésta.

La importancia de la visión radica en que es una fuente de inspiración para el negocio, representa la esencia que guía la iniciativa, de él se extraen fuerzas en los momentos difíciles y ayuda a trabajar por un motivo y en la misma dirección a todos los que se comprometen en el negocio.

Por lo tanto la visión de la empresa es: “consolidarnos como empresa líder en desarrollo de proyectos de ingeniería a nivel industrial en toda Guatemala y Centroamérica.”

1.1.5. Política de calidad

La política de la calidad es el documento base para la implementación de un sistema de gestión de la calidad, marcará las directrices generales para la planificación del sistema y orientará a toda la empresa hacia la satisfacción del cliente.

Por lo cual la política de calidad de la empresa es: “fabricar productos y prestar servicios apegados a los estándares internacionales de calidad, buscando la mejora continua a través de la satisfacción de nuestros clientes.”

PSMI, S. A. se caracterizó desde sus inicios por apegarse a las normas internacionales de soldadura como ASME, ASTM, AWWA, entre otras, lo que ha fomentado la confianza y fidelidad de sus clientes.

1.1.6. Valores

Los valores están relacionados con los intereses y necesidades de las personas a lo largo de su desarrollo, además son convicciones profundas de los seres humanos.

Los valores que PSMI, S. A. ha fomentado en todos sus colaboradores son:

- Respeto a las personas
- Respeto al medio ambiente
- Responsabilidad
- Integridad
- Honestidad
- Confiabilidad
- Servicio y satisfacción del cliente
- Calidad en todo lo que se hace
- Mejora continua
- Innovación constante
- Respeto a las leyes y normas vigentes
- Respeto a los contratos de los que se es parte

1.2. Definiciones básica

A continuación se hace una descripción de las definiciones básicas:

- **Discontinuidad:** falta de continuidad; falta de cohesión (de unión); interrupción en la estructura física normal del material o producto.
- **Defecto:** discontinuidad cuyo tamaño, forma, orientación, ubicación o propiedad son inadmisibles para alguna norma específica. En particular, al realiza un Ensayo No Destructivo (END) se cataloga como defecto a toda discontinuidad o grupo de discontinuidades, cuyas indicaciones no se encuentran dentro de los criterios de aceptación especificados por la norma aplicable.
- **Porosidad en soldadura:** discontinuidad del tipo de cavidad formada por gas atrapado durante la solidificación del metal de soldadura.
- **Inclusiones en soldadura:** son sólidos no metálicos atrapados en el metal de soldadura o entre el metal de soldadura y el metal base. Pueden encontrarse en soldaduras hechas por cualquier proceso de arco. En general, estas inclusiones resultan por fallas en la técnica de soldadura, en el diseño de la junta tal que no permita un acceso adecuado, o en una limpieza inadecuada entre los cordones de soldadura.
- **Fusión incompleta:** discontinuidad bidimensional causada por la falta de unión entre los cordones de soldadura y el metal base, o entre los cordones de soldadura.

- Falta de penetración: ocurre cuando el metal de soldadura no se extiende a través de todo el espesor de la junta. El área no fundida ni penetrada es una discontinuidad descrita como penetración incompleta. Esta puede resultar de un insuficiente aporte de calor de soldadura o un mal diseño de juntas.
- Fisura: ocurren en el metal base y en metal de aporte, cuando las tensiones localizadas exceden la resistencia última del material.
- Socavado: asociadas generalmente con técnicas inapropiadas y/o corrientes excesivas de soldadura. La socavadura es una muesca o hendidura ubicada en los bordes de la soldadura; es un concentrador de tensiones y además disminuye el espesor de las planchas o caños, todo lo cual es perjudicial. Puede darse en la raíz o en la presentación de la soldadura.
- Laminaciones: son discontinuidades planas y alargadas en el metal base, encontrándose normalmente en la parte media del espesor de los materiales forjados.
- Golpes de arco: imperfección localizada en la superficie del metal base, caracterizada por una ligera adición o falta de metal, resultante de la apertura accidental del arco eléctrico. Normalmente se depositara sobre el metal una serie de pequeñas gotas de acero que pueden originar microfisuras; para evitar la aparición de microfisuras esas pequeñas gotas deben ser eliminadas mediante amolado de la superficie.

- High-low: esta discontinuidad se da cuando en las uniones soldadas a tope las superficies que deberían ser paralelas se presentan desalineadas.

1.3. Descripción de códigos y normas a utilizar durante la fabricación de tubería

A continuación se define los códigos y normas que se utilizaran durante la realización del siguiente trabajo de graduación, estos serán útiles para la comprensión de los diferentes ensayos que se aplicaran posteriormente.

1.3.1. Código ASME

“ASME (American Society of Mechanical Engineers o Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos) es una organización sin fines de lucro de profesionales que permite la colaboración, el intercambio de conocimientos y desarrollo de habilidades en todas las disciplinas de la ingeniería, así como fomentar el papel esencial del ingeniero en la sociedad”.¹

1.3.1.1. Definición

ASME desarrolla los códigos y los estándares que mejoraran la seguridad pública, y proporcionaran aprendizaje constante y oportunidades de intercambio técnico que beneficiaran a la comunidad global de la ingeniería y de la tecnología.

¹ <https://www.asme.org/>. Consulta: abril de 2014

El Código ASME establece criterios que rigen la construcción de calderas, recipientes a presión, tanques de transporte y componentes nucleares, así como la inspección en servicio de los componentes nucleares y tanques de transporte.

El código ASME consta de 12 secciones:

- Sección I: calderas de potencia.
- Sección II: especificaciones de materiales.
 - Parte A: materiales ferrosos.
 - Parte B: materiales no ferrosos.
 - Parte C: materiales para soldaduras.
 - Parte D: consideraciones de tensiones de fluencia y rotura de materiales, gráficos sobre presiones externas e información requerida para la aprobación de materiales.
- Sección III: componentes para centrales nucleares.
- Sección IV: calderas de calefacción.
- Sección V: ensayos no destructivos.
- Sección VI: reglas recomendadas para el cuidado y operación de calderas de calefacción.
- Sección VII: lineamientos recomendados para el cuidado de calderas de potencia.
- Sección VIII: recipientes a presión.
 - División 1: reglas para construir para recipientes a presión.
 - División 2: reglas alternativas de construcción para recipientes a presión.
 - División 3: reglas alternativas para la construcción de recipientes a muy alta presión (mayor a 700 Kg/cm²).

- Sección IX: calificación de procedimientos de soldadura y uniones fuertes, soldadores, brazer y de operadores de soldadura y uniones fuertes.
- Sección X: recipientes a presión de plásticos reforzados con fibra.
- Sección XI: inspección de servicios en centrales nucleares.
- Sección XII: reglas para la construcción y servicio continuo de tanques de transporte.

Cada cierto tiempo se emite una edición completamente nueva del código. Para mantener actualizado el código, eventualmente se publican correcciones y modificaciones que actualizan los textos originales.

En el siguiente trabajo de graduación se utilizarán las siguientes secciones del Código ASME.

1.3.1.2. Sección V: Ensayos No Destructivos

La presente sección contiene los requisitos y métodos de Ensayos No Destructivos (END), que son aceptados para el código. Estos procedimientos de evaluación tienen por objeto detectar las imperfecciones internas y de superficie en los materiales, soldaduras, piezas fabricadas, y otros componentes. Ellos incluyen el examen radiográfico, examen por ultrasonido, el examen de líquidos penetrantes, partículas magnéticas, el examen de Foucault, el examen visual, prueba de fugas, y el examen de emisión acústica.

Tabla I. **Métodos y abreviaturas respectivas utilizadas dentro del alcance de la sección V**

ABREVIATURA	METODO
RT	Radiografía
UT	Ultrasonido
MT	Partículas magnéticas
PT	Líquidos penetrantes
VT	Visual
LT	Prueba de fugas
ET	Corrientes de Eddy
AE	Emisión acústica

Fuente: elaboración propia.

1.3.1.3. Sección IX: calificación de procedimientos de soldadura y uniones fuertes, soldadores, brazer y de operadores de soldadura y uniones fuertes

Las reglas de ésta sección se aplican a la preparación de especificaciones de procedimientos de soldar y a la calificación de procedimientos de soldar, de soldadores y de operarios de soldadura para todos los tipos de procesos de soldar manuales y de máquina permitidos en esta sección. Estas reglas también puede ser aplicadas, hasta el grado que ellas sean aplicables, a otros procesos de soldar manuales o de máquinas permitidas en otras secciones.²

² ASME IX-2010, *Calificación de procedimientos de soldadura y uniones fuertes, soldadores, brazer y de operadores de soldadura y uniones fuertes*. p. 5

Consta de dos partes principales, la QW (para calificaciones de soldadura) y la parte QB (para calificaciones en soldadura fuerte).

1.3.2. Norma ASME B31.3

Esta norma establece los requisitos de ingeniería para el diseño, la fabricación el ensamblaje, la instalación, los exámenes, la inspección y pruebas de tubería de proceso.

Este código se aplica a tuberías para todo tipo de fluidos, incluidos:

- Productos químicos puros, intermedios y terminados
- Productos derivados del petróleo
- Gas, vapor, aire y agua
- Sólidos fluidizados
- Refrigerantes
- Fluidos criogénicos

Este código también incluye las tuberías que interconectan partes o etapas dentro de un ensamblaje de equipos empaquetados.

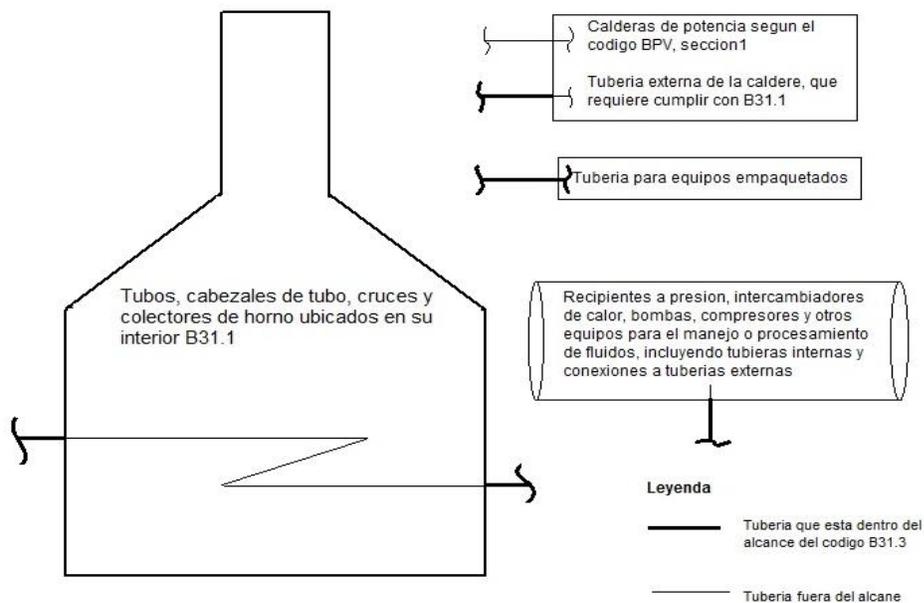
Este código excluye lo siguiente:

- Sistemas de tuberías diseñadas para presiones manométricas internas, mayores o iguales a cero pero menores a 105 kilopascales (15 psi), siempre y cuando el fluido manejado no sea inflamable, ni tóxico, ni dañe los tejidos humanos, y cuya temperatura de diseño se encuentre entre -29 Celcius (-20 °F) y 186 Celcius (366 °F).

- Tuberías externas de un sistema de vapor que debe, por sus características cumplir con esta norma, y que no estén incluidos en la sección I o ASME B31.1
- Tubos, cabezales de tubo, cruces y colectores de calentadores como fuego, ubicados en el interior del recinto del calentador.
- Recipientes a presión, intercambiadores de calor, bombas compresores y otros equipos para manejo o procesamiento de fluidos, incluidas las tuberías internas y las conexiones para tuberías externas.

En la figura 2, se muestra un diagrama que ilustra la aplicación de las tuberías del código B31.3 en equipos. La junta que conecta la tubería al equipo se encuentra cubierta por el código B31.3.

Figura 2. **Diagrama ilustrativo de aplicaciones de ASME B31.3 para tuberías y equipos**



Fuente: ASME B31.3, todos los derechos reservados. Consulta: 28 abril de 2014.

1.3.3. Norma AWWA

La norma define los requisitos que deben cumplir las tuberías de acero, tramos cortos, bridas, accesorios y uniones, utilizadas en los sistemas de agua potable, sistemas de alcantarillado y sistemas de drenaje y riego.

1.3.3.1. Definición

“La AWWA (American Water Works Association o Asociación Americana de obras de agua) es la mayor asociación sin fines de lucro, científica y educativa dedicada a la gestión y tratamiento del agua, recurso más importante del mundo. La AWWA ofrece soluciones para mejorar la salud pública, la protección del medio ambiente, fortalecer la economía y mejorar nuestra calidad de vida”.³

En el siguiente trabajo de graduación se utilizara la siguiente norma AWWA.

1.3.3.2. Norma AWWA C-200: estándar para tubería de agua de acero 6 pulgadas (150 mm) en adelante

Esta norma cubre los estándares para la fabricación de tubos de acero de 6 pulgadas (150 milímetros) y más grandes soldados a tope, de costura recta o de costura de espiral para la transmisión y distribución de agua, incluyendo la fabricación del tubo, los requisitos de las operaciones de soldadura, variaciones de peso y dimensiones permisibles, preparaciones de los extremos, fabricación de las piezas especiales, inspección y procedimientos de prueba.

³ <http://www.awwa.org/about-us.aspx>, Consulta: abril 2014

1.4. Descripción de fabricación de tubería de vapor de escape

Se da lugar de utilizar el vapor de escape con fines industriales, se dirige este a las turbinas o tuberías y demás aparatos a presión, pueden verse sometidos a la industria.

A continuación se describen los diferentes procesos que conlleva la fabricación de tubería de vapor de escape.

1.4.1. Desarrollo geométrico en tubería y accesorios

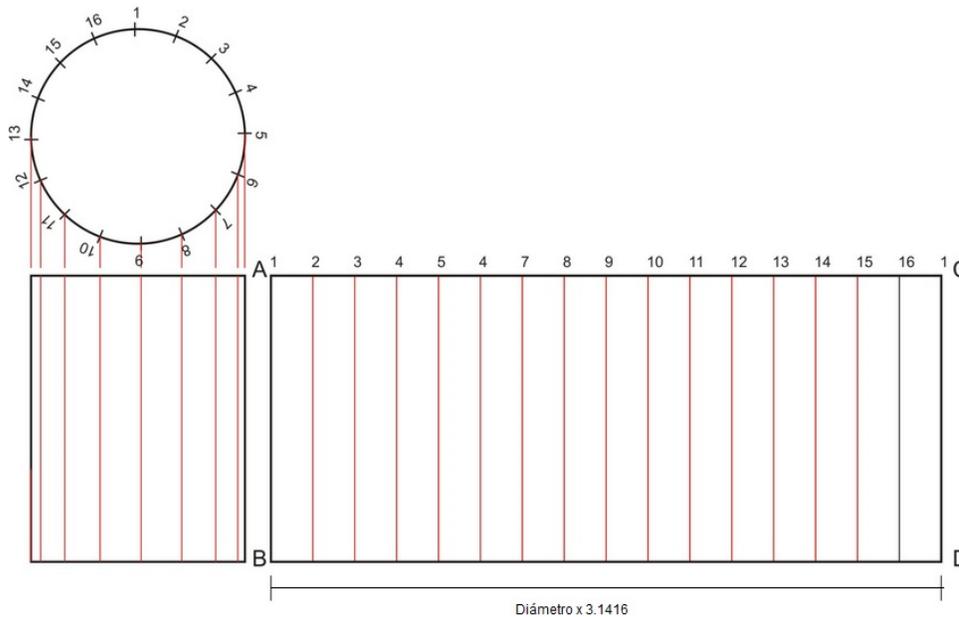
El desarrollo geométrico constituye el despliegue gráfico en dos dimensiones de un cuerpo volumétrico, que debidamente cortado y rolado permitirá reconstruir dicho cuerpo.

1.4.1.1. Desarrollo geométrico de tubos

Un tubo está conformado por la unión de varios cilindros rectos, un cilindro se genera a partir de un rectángulo que gira sobre uno de sus lados.

El desarrollo de un cilindro circular recto se realiza en un rectángulo cuyos lados AB y CD son iguales a la altura del cilindro y sus lados AC y BD son iguales a su circunferencia o perímetro (diámetro x 3,1416).

Figura 3. Desarrollo geométrico de tubos



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

1.4.1.2. Desarrollo de un codo de cuatro piezas a 90°

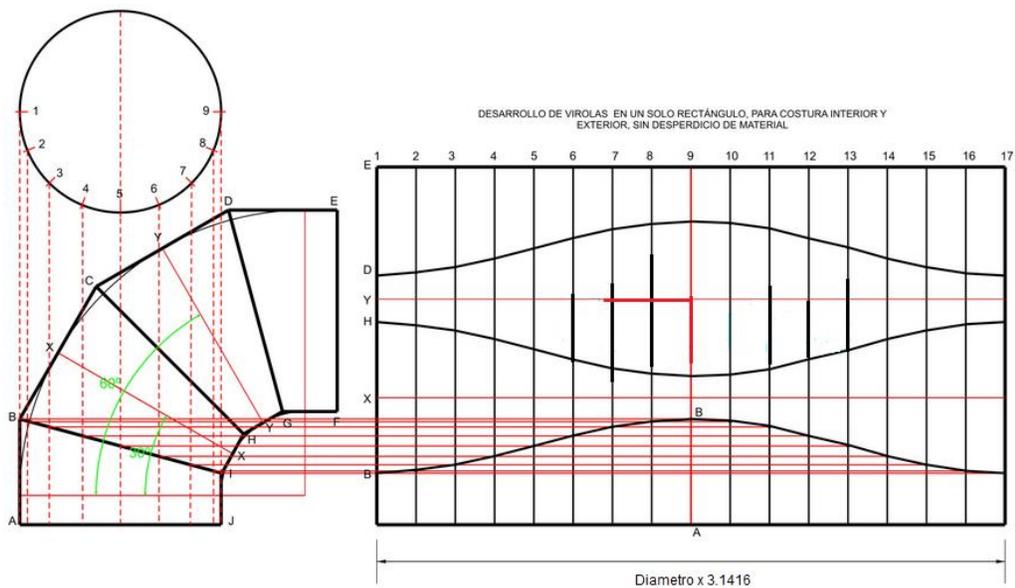
Un codo está formado por cilindros truncados unidos. Se considera en este codo los siguientes elementos:

Radio del codo, radio interior, radio exterior, dos ramas y cuatro piezas formadas por cilindros truncados a 15 grados las piezas A y D en una base, las piezas C y B en dos bases.

Con estos elementos y sus valores se dibuja la vista frontal del codo y se procede igual que en el codo de dos piezas, dibujando primero la plantilla D y luego las demás se dibuja por simetría, tomando como ejes las rectas XX, YY y

ZZ. Terminando el trazo de plantillas se agrega las ramas; una pegada a la plantilla A y la otra al plantilla D.

Figura 4. **Desarrollo geométrico de codos de cuatro piezas a 90°**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

1.4.1.3. **Desarrollo geométrico de CAP**

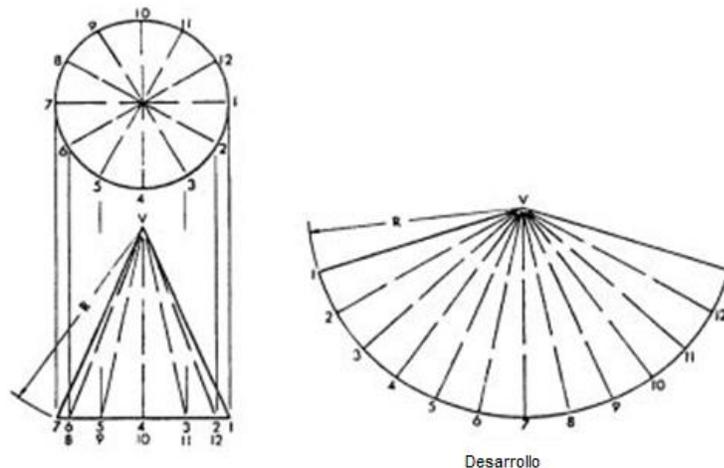
El CAP se utiliza como tapón en la tubería de vapor de escape, este tiene forma de un cono circular recto.

Para el desarrollo de un cono circular recto, simétrico alrededor del eje vertical, se requiere de dos dimensiones: la apotema del cono y la circunferencia. Se observa en la gráfica que el desarrollo se logra con un sector circular, el cual se traza dibujando un arco con radio $R =$ apotema del cono. El

arco de este sector circular se divide en un número de partes iguales, tomando las medidas de las divisiones hechas previamente en las vistas superiores.

En este procedimiento se supone que la cuerda se aproxima al arco, por lo que es recomendable hacer divisiones pequeñas para disminuir la margen de error que se presenta.

Figura 5. **Desarrollo geométrico de CAP**



Fuente: <http://ditbutec.es>. Consulta: 30 abril de 2014.

1.4.2. **Escuadre de lámina**

El escuadre de lámina no es nada más que colocarle las medidas exactas a la lámina de metal, para que al momento que la lámina sea rolada el cilindro sea lo más perfecto posible, tanto en dimensiones como en forma y manteniendo las tolerancias que indica la Norma AWWA C-200 en el párrafo 4.12.

1.4.3. Preparación de bordes

Los bordes son utilizados como fuentes de calor para fundir y unir piezas en metal, hierro líquido y sobrecalentado que se obtiene de la reacción química.

Para ejecutar de una forma correcta una soldadura es necesario realizar previamente una preparación de los bordes de las piezas a unir.

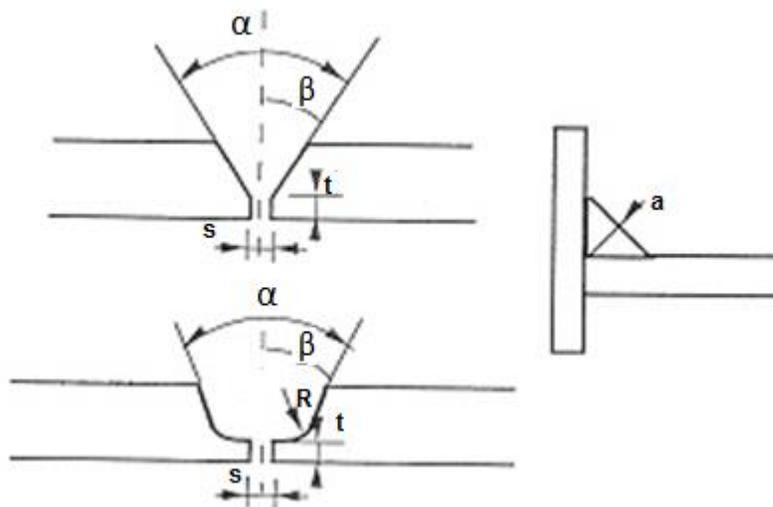
Los tipos de preparaciones de bordes será función de:

- El espesor de las piezas a unir
- Del procedimiento de soldadura a utilizar
- Posición de soldeo
- De la forma y dimensiones de las piezas a unir
- De las cualidades que requiera la unión

En todo caso, hay que tener presente que una preparación incorrecta, mal diseñada o defectuosa en su ejecución es una fuente de futuros defectos en el cordón y de posibles discontinuidades.

Para la preparación de los bordes se recurre al uso del pantógrafo o el fresado mecánico.

Figura 6. Esquema representativo para la preparación de bordes



Fuente: <http://ingemecanica.com>. Consulta: 30 abril de 2014.

De donde:

-s, representa la separación entre chapas. Su dimensión no debe ser muy estrecha, dado que impedirá conseguir una buena penetración, pero tampoco demasiado ancha dado que originaría que el baño se descuelgue. Generalmente habrá que disponer una mayor separación entre chapas cuando se usa electrodo revestido (SMAW), y menor cuando se emplee alambre sólido (GMAW).

- α , representa el ángulo total del chaflán. El valor de este ángulo deberá estar limitado y no ser muy elevado debido a que daría lugar a excesiva deformaciones, mientras que si es muy cerrado se podría tener problemas en función del diámetro del electrodo empleado, como valores habituales se toma alrededor de los 50 grados.

β , define el ángulo del chaflán a realizar en una de las piezas a unir.

t, es la altura del talón.

r, el radio del talón.

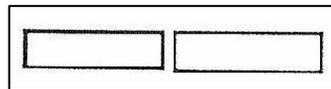
p, es la pestaña.

a, es la garganta de la soldadura empleada para soldaduras de filete.

1.4.3.1. Borde recto

Para este tipo de unión no se realiza preparación alguna de los bordes. Solo es aplicable para piezas con espesores pequeños (< 5 mm), como se muestra en la figura siguiente:

Figura 7. Borde recto



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

1.4.3.2. Borde en V

Este tipo de preparación puede ser simétrico ($\alpha = 2\beta$) o no simétrico. Se emplea sobre todo en espesores entre 6 y 20 milímetros de las piezas a unir, y en soldaduras a una cara con placa de respaldo.

Figura 8. Borde en V

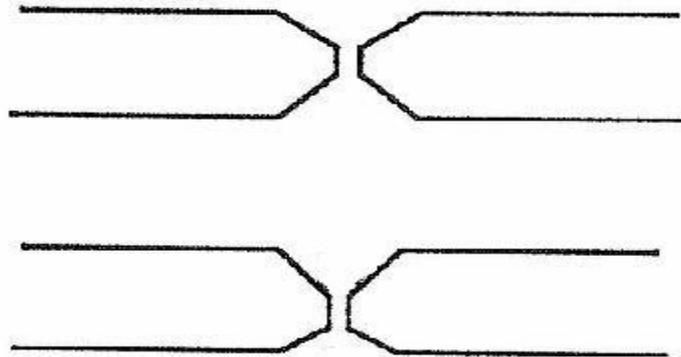


Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

1.4.3.3. Borde en X

Este tipo de preparación puede ser simétrico ($\alpha = 2\beta$) o no simétrico. Se suele emplear para espesores mayores de 20 milímetros. Exige tener accesibilidad por ambas caras, con este tipo de preparación se economiza el material de aportación.

Figura 9. Borde en X

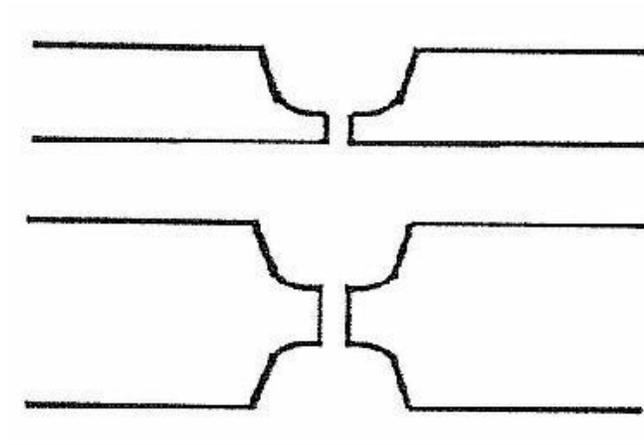


Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

1.4.3.4. Borde en U o en doble U

Aplicable solamente a uniones de piezas de gran espesor, donde este tipo de preparación además permite ahorrar material de aporte. No obstante es un tipo de preparación difícil de ejecutar.

Figura 10. **Borde en U**



Fuente: <http://ingemecanica.com>. Consulta: 24 abril de 2014.

1.4.4. Armado de juntas

El armado de juntas constituye el elemento de unión tramo a tramo en las tuberías, es por tanto un elemento fundamental. De nada servirá una buena tubería, si no se dispone de una estanqueidad total en las uniones.

Una junta debe ser resistente al envejecimiento, a esfuerzos y a gozar de la máxima impermeabilidad. A continuación exponemos en orden las distintas juntas.

1.4.4.1. Juntas a tope

Es la más ampliamente usada en todos los métodos de soldadura, puesto que cuando se sueldan producen un bajo índice de tensiones y deformaciones. Esta unión implica un gasto menor de metal base y metal de aportación, así como también un tiempo más corto en la terminación de los trabajos de

soldadura. Pueden ser ejecutadas con una resistencia igual a la del metal base. No obstante para la elaboración de las uniones a tope se exige una preparación más adecuada de las piezas. Si se ejecuta a mano la soldadura de chapas metálicas de 4 – 8 milímetros de espesor, los bordes pueden ser rectos (sin ninguna preparación).

En este caso las chapas se colocan con una holgura de 1 – 2 milímetros. Se puede soldar a tope y por un solo lado, sin preparación de los bordes, las chapas cuyo espesor sea hasta 3 milímetros; para soldadura bilateral ese espesor puede ser de hasta 8 milímetros. Las planchas con un espesor de 4 - 26 milímetros, se unen a tope con biselado unilateral de los bordes cuando se les aplica el procedimiento de soldadura manual por arco. Este tipo de preparación de los bordes se denomina en V. Las láminas con un espesor de 12 a 40 milímetros y más se sueldan previo biselado bilateral de los bordes, denominado en x.

Figura 11. **Junta a tope**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

1.4.4.2. Juntas a traslape o de monta

Tiene sus ventajas cuando se ejecuta la soldadura por arco eléctrico de estructuras de construcción fabricadas de chapas cuyo espesor no sea mayor de 10 -12 milímetros.

Estas planchas no requieren que sus bordes sean especialmente elaborados. Durante tales uniones se recomienda soldar por las dos caras, puesto que si efectuáramos la soldadura por una sola cara pudiera ocurrir que la humedad se filtrase entre la hendidura de las piezas, con la posterior corrosión del metal en esa zona.

Figura 12. **Junta a traslape o de monta**

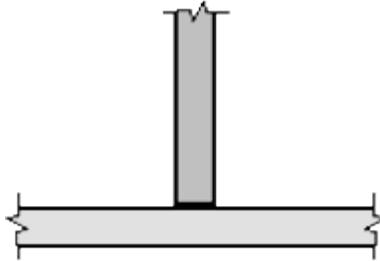


Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

1.4.4.3. Junta en T

Se usa ampliamente en la soldadura por arco y se efectúa con o sin preparación de los bordes de una cara o de ambas caras. La plancha vertical debe tener el borde base bien elaborado. En el caso cuando los bordes de la plancha vertical se biselan por una o ambas caras es una junta combinada de penetración completa reforzada con filete, entre las piezas horizontales y verticales se deja una holgura de 2 – 3 milímetros para obtener una buena penetración en todo el espesor de la pieza vertical. El bisel en una sola cara se realiza en caso de que la construcción de la pieza no permita efectuar en T por los dos lados.

Figura 13. **Junta en T**

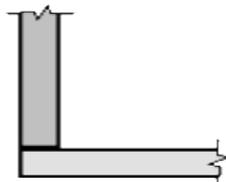


Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

1.4.4.4. **Junta en ángulo**

Se usa para soldadura de diferentes planchas cuyos bordes se han elaborado previamente. Las partes a soldar se colocan en ángulo recto o en otro ángulo y se sueldan por los bordes. Tales uniones se usan generalmente en la soldadura de depósitos, los cuales habrán de ser sometidos a condiciones de trabajo, bajo la acción de una presión no conocida de gas o líquido. A veces las uniones en ángulo se sueldan también por la parte interior.

Figura 14. **Junta en ángulo**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

1.5. Rolado de lámina

La operación de rolado de la lámina es una actividad mediante la cual la lámina que se va curvar se introduce en un sistema de rodillo, generalmente constituidos por tres elementos cuyos ejes paralelos entre sí están dispuestos según los vértices de un triángulo isósceles, los dos rodillos inferiores sostienen la lámina mientras que el superior la mantiene siempre pegada a ellos, haciendo girar en el mismo sentido la pareja de rodillos inferiores, y dejando independiente el rodillo superior se imprime en la lámina un movimiento de traslación.

Imprimiendo además al rodillo superior un empuje vertical hacia abajo y teniendo fijos los rodillos inferiores la lámina recibe una flexión permanente en correspondencia con la generatriz de contacto con el rodillo superior. Habiendo dispuesto los tres rodillos en una posición relativa y haciéndola además girar en cierto sentido, se obliga a la chapa a pasar entre los ejes adoptando cierto grado de curvatura.

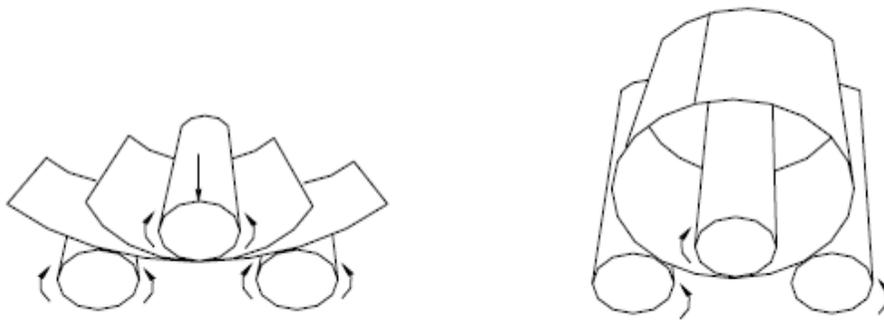
Combinando así el movimiento de traslación horizontal de la lámina y el empuje vertical de los rodillos, con cierto número de pasadas sucesivas, se produce en la lámina una serie de curvados que va en aumento hasta alcanzar la forma cilíndrica requerida y que es verificada en cada pasada de rolado por medio de un escantilló hecho con varilla redonda de $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro. Los extremos de las láminas deben ser prerolados a fin de obtener en los sectores donde va a unirse el cilindro el mismo radio que en el resto del cilindro, este prerolado se realiza en la misma máquina roladora, ya que no se debe hacer mediante golpes.

Para probar el correcto pre-rolado se comprobó la curvatura mediante una plantilla. Una vez prerolada la lámina se procede al rolado completo hasta cerrar el cilindro y se colocan puntos de soldadura en la unión para evitar la recuperación elástica y que no vuelva a deformarse.

La máquina que se usó para el rolado de estas láminas tiene las siguientes características:

- Marca: Kunla/Backteman
- Capacidad de espesor de rolado: 25 mm.
- Ancho máximo: 3.00 m.
- Diámetros de rodillo: superior: 10" Inferiores: 10"

Figura 15. **Esquema del proceso de rolado**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

1.6. Soldadura

Es el proceso por medio del cual dos piezas metálicas, se unen sólidamente. Esta unión se produce con el calentamiento de las superficies a soldar, y pueden ser puestas en contacto con o sin aportación de una sustancia igual o semejante a las piezas a unir. La fuente de calor puede ser una llama, un plasma, un arco eléctrico, un haz de electrones o un láser.

1.6.1. Soldadura metálica con arco protegido

La soldadura metálica con arco protegido (SMAW) es un proceso de soldadura por arco eléctrico que usa un electrodo consumible, consiste en una varilla de metal de aporte recubierta con materiales químicos que proporcionan un fundente y protección.

El metal de aporte usado en la varilla debe ser compatible con el metal que se va a soldar y, por tanto, la composición debe ser muy parecida a la del metal base. El recubrimiento contiene en su composición productos como silicatos, carbonatos, óxidos de hierro y óxidos de titanio, que favorecen las funciones eléctricas y metalúrgicas de los electrodos, facilitan la soldadura en las diversas posiciones, además cumplen con funciones como es estabilizar y facilitar el funcionamiento eléctrico del arco y contribuir físicamente a la mejor formación del cordón.

El recubrimiento tiene una importancia decisiva en la calidad de la soldadura. En ocasiones se incluyen en el recubrimiento polvos metálicos para aumentar la cantidad de metal de aporte y agregar elementos de aleación. El calor del proceso de soldadura funde el recubrimiento y proporciona una atmósfera protectora y escoria para la operación de soldadura. También ayuda

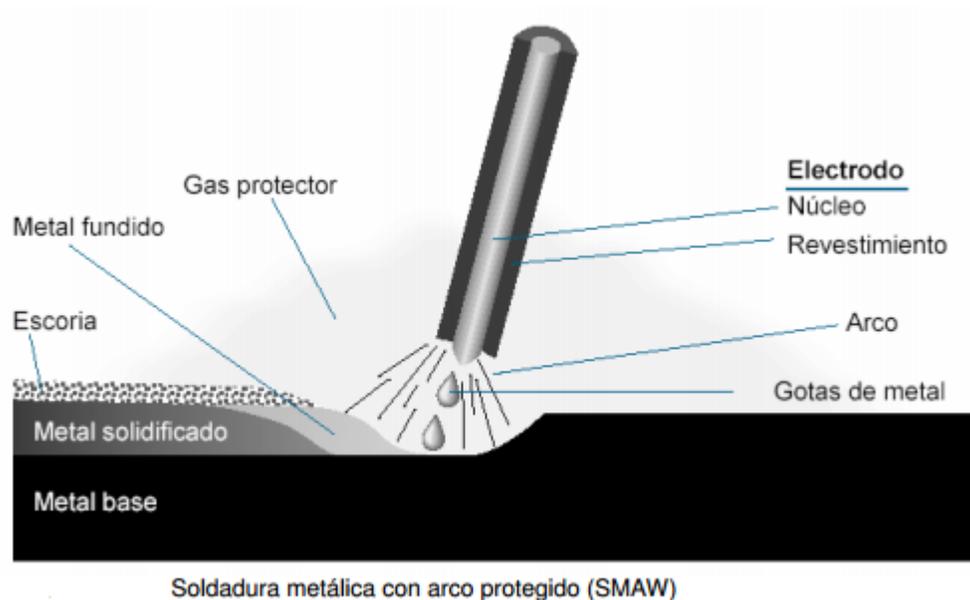
a estabilizar el arco eléctrico y regula la velocidad a la que se funde el electrodo.

Durante la operación, el extremo de metal descubierto de la varilla de soldadura (que está en la otra punta del electrodo) se sujeta en un soporte de electrodos conectado a la fuente de energía.

El soporte tiene una manija aislada para que lo tome y manipule el soldador. Las corrientes que se usan regularmente en la SMAW varían entre 30 y 300 amperios y 15 a 45 voltios. La selección de los parámetros de energía adecuados depende de los metales que se van a soldar, del tipo y diámetro del electrodo, así como del espesor del material base a ser soldado.

Por lo general, la soldadura metálica con arco protegido se ejecuta en forma manual y sus aplicaciones comunes incluyen la construcción, instalación de tuberías, estructuras de maquinaria, construcción de embarcaciones, tiendas de manufactura y trabajos de reparación. El equipo es portátil y de bajo costo, lo que convierte a la SMAW en el proceso más versátil y de mayor uso entre los procesos de soldadura por arco. Los metales base en los que se emplea incluyen los aceros, los aceros inoxidable, los hierros fundidos y ciertas aleaciones no ferrosas. No se usa o se emplea rara vez en aluminio y sus aleaciones, al igual que en las aleaciones de cobre y titanio.

Figura 16. **Soldadura metálica con arco protegido**

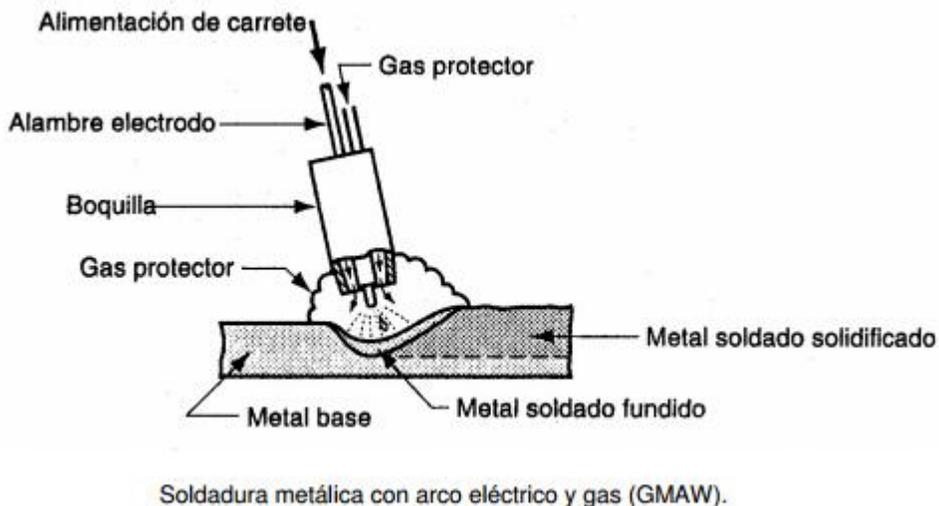


Fuente: <http://eafimoro12>. Consulta: 24 abril de 2014.

1.6.2. **Soldadura metálica con arco eléctrico y gas**

Es también conocida como GMAW. Es un proceso en el cual el electrodo es un alambre metálico desnudo consumible y la protección se proporciona rodeando el arco eléctrico con gas. El alambre desnudo se alimenta en forma continua y automática desde una bobina a través de la pistola de soldadura, como se ilustra en la figura 17. (Esta figura muestra una pistola de soldadura). En la GMAW se usan diámetros de alambre que van desde 0,8 a 6,4 milímetros, el tamaño depende del grosor de las partes que se van a unir y la velocidad de deposición deseada.

Figura 17. **Soldadura metálica con arco eléctrico y gas**



Fuente: <http://procesosmanufacturau4.weebly.com/ensamble-por-soldadura.html>. Consulta: 28 abril de 2014.

Para protección se usan gases inertes como el argón y el helio y también gases activos como el bióxido de carbono. La elección de los gases (y sus mezclas) dependen del material que se va a soldar, al igual que de otros factores. Se usan gases inertes para soldar aleaciones de aluminio y aceros inoxidable, en tanto que normalmente se usa CO_2 para soldar aceros al bajo y mediano carbono. La combinación del alambre de electrodo desnudo y los gases protectores no permiten que se produzca escoria durante el proceso de soldadura, por tanto, se evitan la necesidad del esmerilado y limpieza manual de la escoria. Por tal razón, el proceso de GMAW es ideal para hacer múltiples pasadas de soldadura en la misma unión.

La soldadura GMAW es un proceso versátil, con el cual se puede depositar soldadura a un rango muy alto y en cualquier posición. El proceso es ampliamente usado en láminas de acero de bajo y mediano calibre de fabricación y sobre estructuras de aleación de aluminio particularmente donde existe un alto requerimiento de trabajo manual o trabajo de soldador.

2. AHORRO ENERGÉTICO

Un asunto vital para que las empresas logren consolidarse en el mercado es evitar cualquier fuga de capital. Es por este motivo que se le propone a la empresa PSMI S. A. la siguiente guía de ahorro energético, no solo para evitar gastos innecesarios que se generen por el mal uso de la energía sino también para que la empresa tenga una operación más agradable con el medio ambiente.

2.1. ¿Qué es el ahorro energético?

El ahorro energético supone un ahorro de recursos naturales para salvaguardar al medio ambiente y fomentar un desarrollo sustentable. Consiste en la optimización del consumo de energía, cuyo objeto es que con un menor consumo se produzcan los mismos resultados finales.

2.2. Medida de ahorro energético

En el siguiente trabajo de graduación se presenta una selección de las principales medidas de ahorro y eficiencia energética que se puede implementar en la planta, clasificadas en función del equipo o sistemas energéticos sobre las que actúan:

2.2.1. Iluminación

La iluminación supone uno de los principales puntos de consumo energético de una oficina, por lo que cualquier actuación dirigida a reducir este consumo tendrá una repercusión substancial en el consumo energético global.

Entre los factores que influyen en el consumo de energía de los sistemas de iluminación se encuentran los siguientes.

- Eficiencia energética de los componentes (bombillas, luminarias y equipos auxiliares).
- Usos de la instalación (régimen de utilización, control de aprovechamiento de luz).
- Mantenimiento (limpieza, reposiciones de lámparas).

Para reducir el consumo de energía en iluminación habrá que aplicar las siguientes medidas.

- Usos de equipos de iluminación eficientes: cuando sea necesario recurrir a la iluminación artificial debe utilizarse los sistemas de iluminación más eficientes disponibles (con altos índices de eficiencia luminosa), en función de las necesidades de iluminación de cada zona.
- Sustitución de lámparas incandescentes por lámparas fluorescentes o de bajo consumo. Una bombilla incandescente utiliza menos del 10 por ciento de la energía que consume para producir luz, el resto se pierde en forma de calor. Las bombillas de bajo consumo ahorran hasta un 80 por ciento de energía y duran hasta 15 veces más manteniendo el mismo nivel de iluminación.

- Al momento de sustituir los tubos fluorescentes, sustituir los tubos de 38 milímetros de diámetro por los de 26 milímetros. Proporcionan la misma intensidad de luz con menor consumo.
- Siempre que sea posible, orientar el puesto de trabajo para aprovechar al máximo el uso de la iluminación natural.
- Utilizar tonos claros y tenues para decorar paredes y techos y en el mobiliario, ya que presentan mayores índices de reflexión que los colores oscuros.
- Mantener limpias las ventanas y levantadas las persianas/toldos/cortinas en la medida posible, siempre y cuando no produzca deslumbramientos.

2.2.2. Equipos eléctricos

Hoy en día, en todas las empresas existen un gran número de computadoras y otro tipo de equipo de oficina: impresoras, fotocopiadoras, escáner, faxes, plotters, otros.

Los consumos unitarios de cada uno de los equipos suelen ser relativamente bajos, pero considerados en conjunto, y dado el gran número de horas que están en funcionamiento, supone una parte importante de la factura eléctrica de la organización. Los equipos de oficina pueden ser responsables del más de 20 por ciento del gasto eléctrico en algunas oficinas y de ellos tan solo las computadoras personales representan cifras en torno al 56 por ciento. A estos equipos hay que sumarles, además, los consumos debidos a otros electrodomésticos también habituales en una oficina, como microondas, televisores, cafeteras.

Además, no hay que olvidar que estos equipos generan calor con su uso, aumentando la carga térmica en el interior de las instalaciones e influyendo indirectamente en la demanda de energía del aire acondicionado.

Reducir el consumo de estos equipos puede proporcionar, por lo tanto, importantes beneficios tanto ambientales como económicos para la empresa.

El consumo de energía de los equipos de oficina y del resto de equipos eléctricos de una oficina puede reducirse sustancialmente a través de:

- La adquisición de equipos más eficientes, que consumen menos energía y generan menos calor con su funcionamiento.
- Se recomienda que los equipos de oficina adquiridos lleven la etiqueta de *Energy Star*. Este sello garantiza que los equipos cumplan con los requisitos de eficiencia energética.
- Mejorar el comportamiento de los usuarios de los equipos de oficina.
- Gestionando eficientemente su consumo energético, configurando los modos de ahorro de energía de los equipos y evitando las pérdidas en *stand-by* para evitar consumo innecesario fuera del horario laboral de la oficina.

2.2.3. Equipos industriales

Muchas veces los equipos en las industrias son antiguos o ineficientes y esto conlleva a un gran incremento del uso de energía. También es común que los operadores de equipos industriales permanezcan muchos años en los mismos puestos, trabajando en base a sus hábitos y experiencias, sin recibir capacitaciones para utilizar los equipos. Por ello en general aunque se renueven la tecnología, esta sigue usando de forma ineficiente.

Para reducir el consumo de energía en los equipos industriales, habrá que aplicar las siguientes medidas.

- Capacitar al personal en el uso de las herramientas y equipos que requieren en su trabajo.
- Dimensionar adecuadamente las maquinas a utilizar: una máquina más grande no ofrece una mayor eficiencia.
- Realizar mantenimiento periódico a maquinaria y motores.
- Evitar arrancar frecuentemente un motor.
- Apagar la maquinaria cuando esta no en operación.

2.2.4. Sistema de acondicionamiento de aire

La presencia de sistemas de refrigeración en las oficinas es un hecho cada vez más frecuente y al mismo tiempo preocupante, dado que muchas de estas instalaciones presentan unos consumos de energía generalmente excesivos propiciados por varios factores:

- La construcción de edificios con tendencias estéticas contrarias a la racionalización energética (edificios de oficinas herméticos, con diseños constructivos que no tienen en cuenta criterios de eficiencia energética u que abusan del cristal en los cerramientos).
- La exigencia por parte de los trabajadores de unas condiciones térmicas superiores a los estándares normales de confort, ligado en muchas ocasiones a la identificación subjetiva de derroche con los conceptos de estatus y calidad de vida.

- El aumento de las cargas térmicas internas, debido al calentamiento recibido por el edificio y al calor emanado por los sistemas de iluminación artificial (mas cuanto más ineficientes son) y resto de equipos, especialmente los informáticos

En muchas ocasiones, un edificio de oficinas que cuente con un buen nivel de aislamiento y un sistema de ventilación adecuado (así como con instalaciones energéticas eficientes) no debiera tener la necesidad de instalar un sistema de refrigeración. Cualquier inversión que decida acometer la empresa en mejorar estos aspectos para optimizar el comportamiento energético del edificio le será recompensada por un importante ahorro en la factura energética de por vida y en mayor nivel de confort en el trabajo.

No obstante, en el caso de que por distintas circunstancias no sea posible acometer dichas mejoras, lo recomendable será optar por aquellas soluciones de refrigeración más eficientes y con el menor impacto ambiental y económico posible, dentro de estas soluciones se encuentran las siguientes:

- El uso de sistemas de refrigeración centralizados, tanto colectivos como individuales, son mucho más eficientes que las instalaciones independientes.
- Utilizar ventiladores, constituyen una excelente solución para reducir la sensación térmica del aire entre 4 y 8 grados Celsius, por el simple movimiento del aire. Aunque se trate de equipos independientes eléctricos presentan un consumo bajo de energía.

- Utilizar enfriadores de aire/climatizadores evaporativos, permiten humedecer y refrescar el ambiente de un local hasta 12 – 16 grados Celsius con respecto a la temperatura exterior, siendo recomendables para climas secos y cálidos, pero si la temperatura exterior es muy elevada su eficiencia se ve reducida.
- Colocar láminas o filtros solares, se trata de unos materiales adhesivos de fácil instalación, que se colocan sobre el cristal de las ventanas para reflejar parte de la radiación solar que incide en el edificio, y evitar el sobrecalentamiento de las estancias interiores. Con esto se puede evitar el uso de cortinas y permite una total visibilidad del exterior.
- Adquirir equipamientos más eficientes (de clase A, que disipan menos energía al ambiente al tener menos ineficiencias en su funcionamiento).
- Haciendo un uso correcto y más racional de los sistemas energéticos de la oficina (por ejemplo, evitando dejar luces encendidas cuando no se necesitan).
- Evitar bajar o subir bruscamente la temperatura de las instalaciones, ya que solamente se conseguirá aumentar el consumo de energía del sistema, y esto conllevará a disminuir la vida útil de los equipos.
- Mantener la temperatura optima en verano entre 23 y 25 grados Celsius
- Mantener la temperatura optima en invierno entre 20 y 22 grados Celsius

2.2.5. Buena práctica de consumo energético

Todas las medidas y actuaciones recogidas en este capítulo son necesarias y constituyen un primer paso importante para que la empresa pueda alcanzar sus objetivos de ahorro y mejora de la eficiencia energética. Pero sin la conciencia y la colaboración activa de todos los empleados sobre las ventajas de poner en marcha esta iniciativa, será muy difícil alcanzar, en la práctica, los objetivos de reducción del consumo de energía.

La información, educación y sensibilización será una herramienta de vital importancia para garantizar la correcta operatividad de la guía de mejora de la gestión energética de la empresa.

Que el plan sea un éxito dependerá en gran medida de:

- El correcto uso que se haga de los sistemas de iluminación, climatización y los equipos eléctricos e industriales.
- El cambio de los hábitos de consumo de los empleados y operadores.

3. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN LA FABRICACIÓN, ARMADO Y PROCESO DE SOLDADURA

En este capítulo se clasifican los diferentes tipos de ensayos no destructivos (superficiales, volumétricos, y de hermeticidad). A la vez, se describe cada uno, así como sus aplicaciones, ventajas y desventajas.

3.1. ¿Qué son los Ensayos No Destructivos?

Un Ensayo No Destructivo consiste en la aplicación de ciertas pruebas sobre un objeto para verificar su calidad sin modificar sus propiedades y estado original. Estas pruebas permitirán detectar y evaluar discontinuidades o propiedad de los materiales sin modificar sus condiciones de uso o aptitud para el servicio. Los materiales que se pueden inspeccionar son los más diversos, entre metálicos y no metálicos, normalmente utilizados en procesos de fabricación, tales como: laminados, fundidos, forjados y otras conformaciones.

Los ensayos son realizados de acuerdo a procedimientos escritos, que atienden a los requisitos de las principales normas o códigos de fabricación, tales como ASME, ASTM, API y el AWS entre otros.

3.2. Objetivos de los Ensayos No Destructivos

Los métodos de Ensayos No Destructivos, permiten el control del 100 por ciento de una producción y pueden obtener la información de todo el volumen de una pieza, con lo que contribuyen a mantener un nivel de calidad uniforme,

con la siguiente conservación y aseguramiento de la calidad funcional de los sistemas y elementos.

Además colaboran en prevenir accidentes, ya que se aplican en mantenimiento y en vigilancia de los sistemas a lo largo del servicio.

Por otra parte proporcionan beneficios directos e indirectos. Beneficios directos, por la disminución de los costos de fabricación, al eliminar en las primeras etapas de fabricación, los productos que serían rechazados en la inspección final, y el aumento de la productividad, por reducirse el porcentaje de productos rechazados en dicha inspección final.

Entre los beneficios indirectos se pueden citar su contribución a la mejora de los diseños, por ejemplo, demostrando la necesidad de realizar cambio de diseño en zonas críticas de piezas fundidas o también contribuyendo en el control de calidad de procesos de fabricación.

3.3. Clasificación de Ensayos No Destructivos

Se clasifican por el alcance que poseen en cuanto a la detección de fallas, por lo cual cada uno de ellos está descrito de la siguiente manera, en su respectivo orden.

3.3.1. Ensayos superficiales

Mediante este ensayo solo se comprueba la integridad superficial de un material. Por tal razón su aplicación es conveniente cuando es necesario detectar discontinuidades que están en la superficie, abiertas a esta o

profundidades menores de 3 milímetros. Este tipo de inspección se realiza por medio de cualquiera de los siguientes ensayos no destructivos.

3.3.1.1. Inspección visual (VT)

Es una de las pruebas no destructivas más utilizadas, gracias a ella, es posible obtener información inmediata de las condiciones superficiales de los materiales que estén siendo evaluados ya que permite observar muchas características.

Esta técnica requiere de una gran cantidad de información acerca de las características de la pieza a ser examinada, para una acertada interpretación de las posibles indicaciones. Esta ampliamente demostrado que cuando se aplica correctamente como inspección preventiva, detecta problemas que pudieran ser mayores en los pasos subsecuentes de producción o durante el servicio de la pieza.

Aún cuando para ciertas aplicaciones no es recomendable, es factible detectar muchos problemas en casos específicos, mediante la inspección realizada por una persona bien entrenada.

La inspección visual consiste en la observación directa del material a examinar; o bien utilizando instrumento como lentes de aumento o lupas, sistemas de interferencia cromática o la luz polarizada y endoscopios.

- **Aplicaciones:** la tecnología asociada con la inspección visual incluye un amplio campo de aplicaciones, incluyendo varios productos e industrias tales como:

- Tanques y recipientes
 - Edificios
 - Plantas térmicas
 - Centrales nucleares
 - Turbinas y generadores
 - Plantas de refinería
 - Aeroespacial
- Ventajas de la inspección visual
 - La inspección visual se emplea en cualquier etapa de un proceso productivo o durante las operaciones de mantenimiento preventivo o correctivo.
 - Muestra las discontinuidades más grandes y generalmente señala otras que pueden detectarse de forma más precisa por otros métodos, como son líquidos penetrantes, partículas magnéticas o electromagnetismo.
 - Pueden detectar y ayudar en la eliminación de discontinuidades que podrían convertirse en defectos.
 - El costo de inspección visual es el más bajo de todos los ensayos no destructivos, siempre y cuando sea realizado correctamente.
- Limitaciones de la inspección visual
 - La calidad de la inspección visual depende en gran parte de la experiencia y conocimientos del inspector.
 - Está limitada a la detección de discontinuidades superficiales.
 - Cuando se emplean sistemas de observación directa, como son las lupas y los endoscopios sencillos, la calidad de la inspección

dependerá de la agudeza visual del inspector o de la resolución del monitor de video.

- La detección de discontinuidades puede ser difícil si las condiciones de la superficie sujeta a inspección no son correctas.

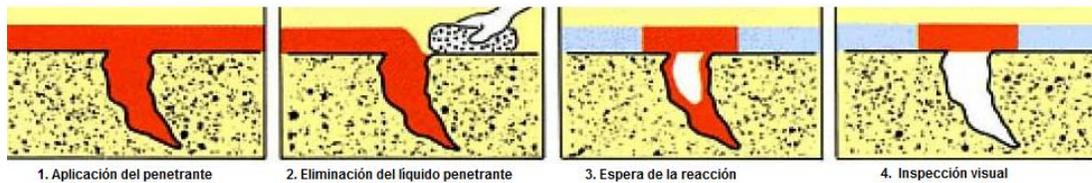
3.3.1.2. Líquidos penetrantes (PT)

La inspección por líquidos penetrantes es empleada para detectar e indicar discontinuidades que afloran a la superficie de los materiales examinados.

En términos generales, esta prueba consiste en aplicar un líquido coloreado o fluorescente a la superficie a examinar, el cual penetra en las discontinuidades del material debido al fenómeno de capilaridad. Después de cierto tiempo, se remueve el exceso de penetrante y se aplica un revelador, el cual generalmente es un polvo blanco, que absorbe el líquido que ha penetrado en la discontinuidad y sobre la capa de revelador se delinea el contorno de ésta.

Actualmente existen 18 posibles variantes de inspección empleando este método; cada una de ellas ha sido desarrollada para una aplicación y sensibilidad específica. Así por ejemplo si se requiere detectar discontinuidades con un tamaño de aproximadamente medio milímetro (0,0012" aprox.), debe emplearse un penetrante fluorescente, removible por posemulsificación. Por otra parte, si lo que se necesita es detectar discontinuidades mayores a 2,5 milímetros (0,100" aprox.), conviene emplear un penetrante de contraste, lavable con agua y un revelador en suspensión acuosa.

Figura 18. **Principio de la inspección por líquidos penetrantes**



Fuente: AEND. *Líquidos penetrantes nivel II*. Consulta: 30 abril de 2014.

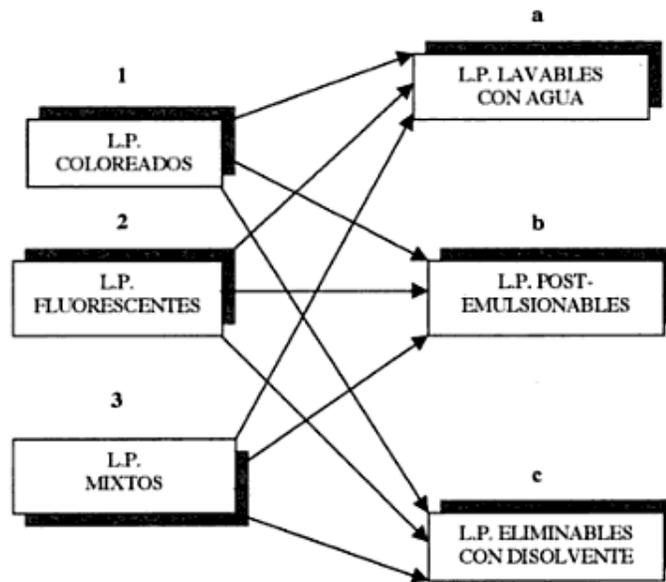
- Clasificación y características de líquidos penetrantes: la clasificación básica de los líquidos penetrantes existentes es la que los agrupa en función de la fuente de luz que se precisa para la observación de las indicaciones que proporciona el ensayo. Se clasifican en tres grupos o familias que son:
 - Líquidos penetrantes coloreados, observación con luz visible blanca.
 - Líquidos penetrantes fluorescentes, observación con luz negra (ultravioleta).
 - Líquidos penetrantes mixtos (fluorescentes-coloreados), observación bajo los dos tipos de luz anteriores.

Paralelamente, en cada familia, se pueden encontrar tres casos posibles de empleo en función de la forma de eliminar de la superficie el exceso de penetrante:

- Líquidos penetrantes lavables con agua
- Líquidos penetrantes postemulsionable
- Líquidos penetrantes eliminables con disolventes

Los penetrantes postemulsionables se llaman así porque necesitan la adición posterior de un emulsionante para hacerlos lavables con agua.

Figura 19. **Clasificación de los líquidos penetrantes**



Fuente: AEND. *Líquidos penetrantes nivel II*. Consulta: 30 abril de 2014

Los líquidos penetrantes mixtos (fluorescentes-coloreados) son penetrantes especiales que contienen en su composición pigmentos fluorescentes mezclados con pigmentos coloreados. Estos líquidos penetrantes se conocen también con el nombre de penetrantes de doble sensibilidad.

Conviene resaltar que no se debe realizar un ensayo con penetrantes fluorescentes a continuación de haber realizado un ensayo con penetrantes coloreados o con penetrantes mixtos. El motivo de esto es porque los pigmentos coloreados pueden disminuir o empeorar la acción de los fluorescentes.

- Características particulares de los distintos tipos de penetrantes
 - Líquidos penetrantes coloreados visibles: en su composición contienen pigmentos coloreados disueltos que los hacen visibles con luz natural (de día) o con luz artificial blanca (lámparas eléctricas). El color más utilizado es el rojo que hace claramente visibles las indicaciones sobre el fondo normalmente blanco del revelador.

Aunque la sensibilidad de estos penetrantes rojos suele ser inferior a la de los fluorescentes, resultan adecuados para un gran número de aplicaciones. Así, los más empleados en general en los talleres y en inspecciones que se realizan a pie de obra son los penetrantes rojos eliminables con disolventes, suministrados en botes de aerosol por ser los de aplicación más sencilla y no requieren agua para lavado ni lámparas especiales para la observación, como los fluorescentes.

- Líquidos penetrantes fluorescentes: este tipo de líquidos penetrantes incorpora en su composición pigmentos fluorescentes de color generalmente amarilloverdoso, que son sensibles a una iluminación especial llamada luz negra que los hace fluorescer. En general, estos líquidos penetrantes fluorescentes tienen una mayor sensibilidad que los coloreados, es decir, son capaces de detectar indicaciones más finas.
- Líquidos penetrantes lavables con agua: este tipo de penetrante es de uso muy cómodo y su empleo está bastante extendido a pesar de su menor sensibilidad.

Los líquidos penetrantes (líquidos tipo aceite ligero, derivados del petróleo) por sí mismo no son solubles en agua. El tipo de penetrante lavable con agua incorpora en su composición un agente emulsionante que permite que el producto se pueda eliminar por lavado con agua.

Una emulsión es un líquido formado por al menos dos sustancias que no son miscibles, de las cuales una está dispersa en la otra en estado de gotas muy finas.

- Líquidos penetrantes postemulsionables: como este tipo de penetrantes no llevan en su composición el emulsionante, necesita una etapa intermedia (después de transcurrido el tiempo de penetración y antes de la eliminación del exceso de penetrante con agua) en la que se aplica el emulsionante. La mezcla penetrante – emulsionante es ya una emulsión que se puede eliminar por lavado con agua.

El tiempo de contacto entre el penetrante y el emulsionante es crítico y debe ser el más corto posible, conforme al especificado por el fabricante del producto.

- Líquidos penetrantes eliminables con disolventes: estos penetrantes requieren para su eliminación el empleo de un disolvente que se denomina eliminador. Por lo general los eliminadores a base de disolventes, son productos especiales, particularmente formulados por cada fabricante y apropiados para eliminar sus propios penetrantes.

Al igual que en el caso anterior, el eliminador debe estar en contacto con el penetrante el tiempo suficiente para eliminar el exceso del mismo, pero este tiempo debe ser el mínimo para no correr el riesgo de eliminar parcial o totalmente el penetrante del interior de las discontinuidades.

- Clasificación y características de tipos de reveladores: existen cuatro grupos o tipos de reveladores:
 - Reveladores de polvo seco
 - Reveladores acuosos
 - Reveladores húmedos no acuosos
 - Reveladores de película líquida

- Características particulares de los distintos tipos de reveladores.
 - Revelador de polvo seco: los primeros reveladores que se utilizaron (el yeso o el talco en forma de polvo muy fino), hoy en día se pueden utilizar con buenos resultados, si bien se han descubierto otros productos que son más ligeros y proporcionan mejores resultados.

El revelador de polvo seco se emplea tal como se suministra el producto. Debe ser ligero, esponjoso y capaz de adherirse con facilidad a las superficies metálicas, formando sobre ellas una capa fina y continua.

Con este tipo de revelador hay que tener cuidado para evitar que se contamine con penetrantes fluorescentes, ya que si ocurre aparecerían indicaciones falsas en el ensayo.

Es importante que el revelador no tenga tendencia a flotar en el aire dando lugar a nubes de polvo, pero eso no es siempre posible ya que se contrapone con otras propiedades fundamentales; por lo tanto el empleo de estos reveladores de polvo seco hace inevitable la formación de estas nubes y la contaminación de la zona de trabajo, aspecto que se debe tener en cuenta desde el punto de vista de la seguridad personal.

- Reveladores acuosos: se suministran en forma de concentrado de partículas de polvo seco y hay de dos tipos: para preparaciones en suspensión acuosa, o por disolución en agua, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante del producto.

Tienen la ventaja de que al aplicarlos no forman nubes de polvo. Son de fácil aplicación y pueden llegar a cubrir zonas no accesibles con los reveladores del tipo de polvo seco. En general, son menos sensibles que los reveladores de polvo seco y presentan el problema del mantenimiento de la suspensión

- Reveladores húmedos no acuosos: son suspensiones de polvo revelador en disolventes. Se suelen utilizar en el proceso de penetrantes visibles de color rojo, son polvos de color blanco en suspensión en un disolvente orgánico volátil, que se presenta envasado en forma de botes de aerosol, lo que facilita su aplicación por pulverización sobre la superficie de ensayo.

- Reveladores de película líquida: estos reveladores son soluciones o suspensiones de resinas/polímeros en un medio adecuado que se aplican por pulverización siguiendo las instrucciones del fabricante.

Después de su aplicación forma un recubrimiento traslucido o transparente sobre la superficie ensayada. Dentro de este tipo de reveladores se encuentra el que se denomina pelable porque permite levantar la capa de la superficie y guardarla para tener un registro de las indicaciones obtenidas en el ensayo.

- Procedimientos de la inspección: para la inspección por líquidos penetrantes, se debe realizar varias operaciones previas, las cuales varían poco y dependen del tipo de penetrante que se emplee:
 - Limpieza previa: en toda pieza o componente que se inspeccione por este método, se debe eliminar de la superficie todos los contaminantes, sean estos óxidos, grasas, aceites, pinturas, otros, pues impiden al penetrante introducirse en las discontinuidades.
 - Aplicación del penetrante: el penetrante se aplica por cualquier método que humedezca totalmente la superficie que se va a inspeccionar, dependiendo del tamaño de las piezas, de su área y de la frecuencia del trabajo. Se puede seleccionar el empleo de rociado, inmersión, brocha, otros, cualquiera que sea la elección, esta debe asegurar que el penetrante cubra totalmente la superficie.

Otra variable importante a tomar en cuenta es la sensibilidad, ya que si hace falta una alta sensibilidad (detección de fracturas muy pequeñas o cerradas), debe aplicarse un penetrante fluorescente de alta luminosidad o si se desea una sensibilidad normal, deben emplearse un penetrante contraste (visible).

- Tiempo de penetración: el tiempo de penetración es una variable crítica en este tipo de inspección, un tiempo muy breve no permite que la concentración del penetrante en las discontinuidades sea la óptima: por este motivo el tiempo que debe permanecer el penetrante en la superficie sujeta a inspección debe determinarse experimentalmente, aun cuando en las normas existen tiempos mínimos recomendados.

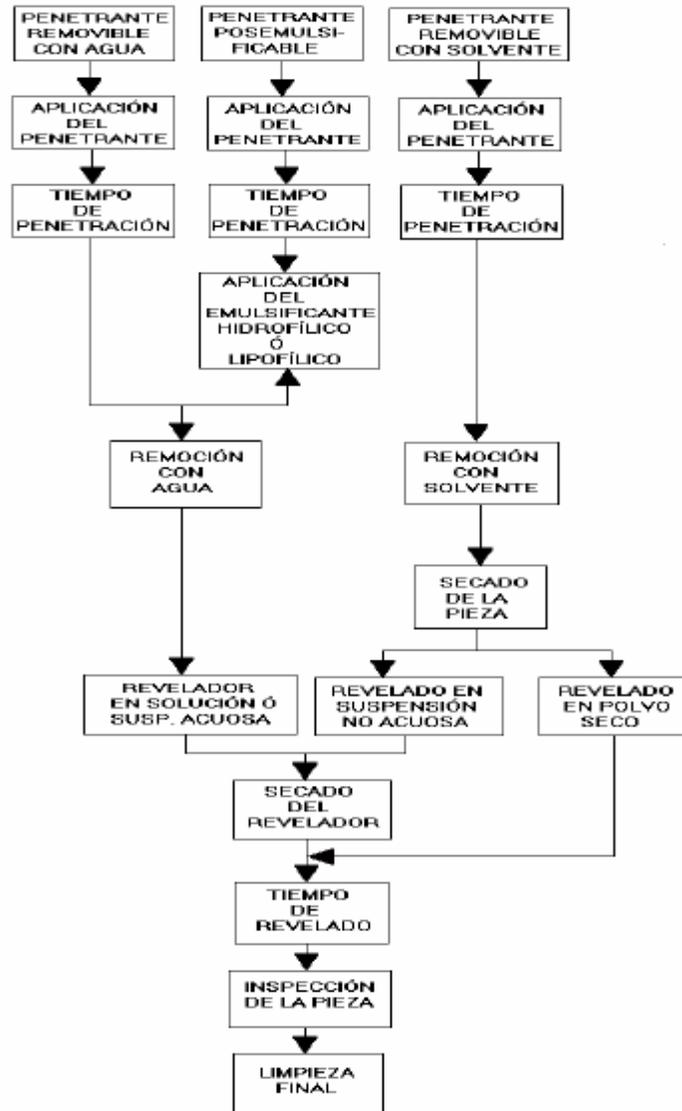
El tiempo de penetración puede variar desde 5 minutos para discontinuidades relativamente grandes, hasta 45 minutos para discontinuidades muy cerradas o pequeñas, como en el caso de fracturas por fatiga.

- Eliminación del exceso de penetrante: consiste en la eliminación del exceso de penetrante que no se introdujo en las discontinuidades. Esta etapa es de gran importancia pues de ella depende en gran parte la sensibilidad del método.
- Aplicación del revelador: la función del revelador es absorber o extraer el penetrante atrapado en las discontinuidades, aumentando o provocando la visibilidad de las indicaciones.

- Tiempo de revelado: cualquiera que sea el revelador empleado, este debe permanecer sobre la superficie de la pieza aproximadamente el mismo tiempo que se dio de penetración; esto es con el fin de dar tiempo al revelador para que extraiga al penetrante de las discontinuidades y forme una indicación de buena calidad.
- Interpretación y evaluación de las indicaciones: después de que ha transcurrido el tiempo de revelado, la pieza esta lista para su evaluación. En esta etapa es importante considerar el tipo de iluminación, el cual se determinara de acuerdo al procedimiento utilizado. Se emplea iluminación normal (luz blanca) de suficiente intensidad para el método de penetrante visible e iluminación ultravioleta (luz negra), para el método de penetrante fluorescente. La calidad de la inspección depende principalmente de la habilidad y de la experiencia del inspector para encontrar y discontinuidades.
- Limpieza final: después de concluir la inspección, generalmente debe limpiarse la superficie de la pieza. Este paso puede realizarse mediante un enjuague con agua a presión, por inmersión o mediante un removedor.

A continuación se muestra un diagrama, que ilustra las etapas de la prueba descrita anteriormente.

Figura 20. Diagrama de bloques de inspección por líquidos penetrantes



Fuente: AEND. *Líquidos penetrantes nivel II*. Consulta: 24 abril de 2014.

- Aplicaciones: la prueba de líquidos penetrantes es extremadamente versátil y tiene muchas aplicaciones. Se utiliza en casi todas las principales industrias y para una amplia variedad de formas de producto.

Las industrias que utilizan ampliamente las técnicas de prueba de líquidos penetrante incluyen:

- La generación de energía, tanto fósil y nuclear
- Petroquímico
- Construcción naval
- Trabajo del metal, incluidas las fundiciones y talleres de forja
- Aeroespacial
- Procesos de soldadura

Otra aplicación única de los líquidos penetrantes es la detección de fugas a través de paredes. Con esta aplicación, el penetrante se aplica a una superficie, por ejemplo, de un tanque, y el revelador se aplica a la superficie opuesta. Si se presenta alguna fuga, el penetrante seguirá el camino y será expuesta como una indicación en la otra pared.

- Ventajas de los líquidos penetrantes
 - La inspección por líquidos penetrantes es extremadamente sensible a las discontinuidades abiertas a la superficie.
 - Son relativamente fáciles de emplear.
 - Brindan muy buena sensibilidad.
 - Son económicos.
 - Son razonablemente rápidos en cuanto a la aplicación, además de que el equipo puede ser portátil.
 - Se requiere de pocas horas de capacitación.

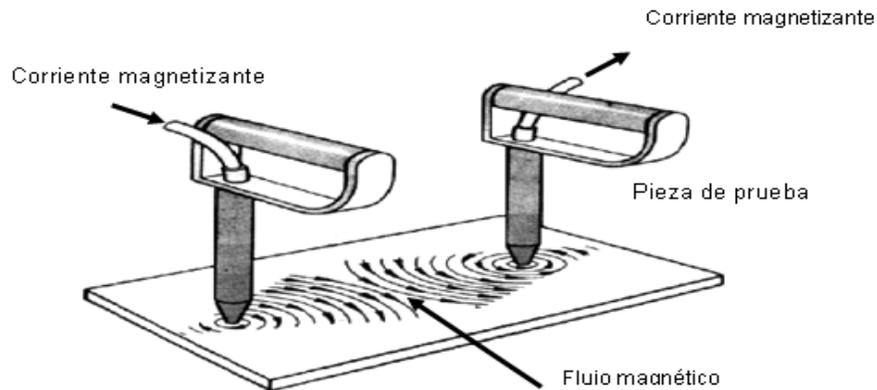
- Limitaciones de los líquidos penetrantes
 - Solo son aplicables a defectos superficiales y a materiales no porosos.
 - Se requiere de una buena limpieza previa a la inspección.
 - No se proporcionan un registro permanente de la prueba no destructiva.
 - Los inspectores deben tener amplia experiencia en el trabajo.

3.3.1.3. Partículas magnéticas (MT)

La inspección por partículas magnéticas permite detectar discontinuidades superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos. Se selecciona usualmente cuando se requiere una inspección más rápida que con los líquidos penetrantes.

El principio del método es la formación de distorsiones del campo magnético o de los polos cuando se genera o se induce este en un material ferromagnético; es decir, cuando la pieza presenta una zona en la que existen discontinuidades perpendiculares a las líneas del campo magnético, este se deforma o produce polo. Las distorsiones o polos atraen a las partículas magnéticas, que fueron aplicadas en forma de polvo o suspensión en la superficie sujeta a inspección y que por acumulación producen las indicaciones que se observan visualmente de manera directa o bajo luz ultravioleta. La figura 21 muestra el principio del método por partículas magnéticas.

Figura 21. Principio de la inspección por partículas magnéticas



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos30/particulas-magneticas/particulasmagneticas>.

Consulta: 24 abril de 2014.

Actualmente existen 32 variantes del método, que al igual que los líquidos penetrantes sirven para diferentes aplicaciones y nivel de sensibilidad. En este caso, antes de seleccionar alguna de las variantes, es conveniente estudiar el tipo.

- Las etapas básicas involucradas en la realización de una inspección por este método son:
 - Limpieza: todas las superficies a inspeccionar deben estar limpias y secas. La expresión limpia quiere decir que la superficie se encuentra libre de aceite, grasa, suciedad, arena, óxido, cascarillas sueltas u otro material extraño, el cual pueda interferir con el ensayo.
 - Magnetización de las piezas: este paso puede efectuarse por medio de un imán permanente, con un electroimán o por el paso

de una corriente eléctrica a través de la pieza. El tipo de magnetización a emplear depende de: el tipo de pieza, el tipo de discontinuidad y la localización de la misma.

- Corriente de magnetización: se seleccionará en función de la localización probable de las discontinuidades; si se desea detectar solo discontinuidades superficiales, debe emplearse la corriente alterna, ya que esta proporciona una mayor densidad de flujo en la superficie y por lo tanto mayor sensibilidad para la detección de discontinuidades superficiales; pero es ineficiente para la detección de discontinuidades subsuperficiales.

Si lo que se espera es encontrar defectos superficiales y subsuperficiales, es necesario emplear la corriente rectificada de media onda; ya que esta presenta una mayor penetración de flujo en la pieza.

- Forma de magnetizar: la forma de magnetizar es también importante, ya que conforme a las normas comúnmente adoptadas, la magnetización con yugo solo permite la detección de discontinuidades superficiales. Los yugos de AC o DC producen campos lineales entre sus polos y por este motivo tienen poca penetración. Otra técnica de magnetización lineal es emplear una bobina (solenoides). Si se selecciona esta técnica, es importante procurar que la pieza llene lo más posible el diámetro interior de la bobina.
- Cuando la pieza es de forma regular (cilíndrica), se puede emplear la técnica de cabezales, que produce magnetización circular y

permite la detección de defectos paralelos al eje mayor de la pieza.

Una variante de esta técnica es emplear contactos en los extremos de la pieza, que permiten obtener resultados similares.

- Observación e interpretación de los resultados: la inspección visual de las indicaciones se efectuara en parte durante la magnetización y continuará el tiempo necesario después de que el medio de examen se haya estabilizado, para explorar toda la zona de ensayo. Las discontinuidades quedaran indicadas por la retención de las partículas magnéticas.
Con base en lo anterior, se puede determinar la existencia de discontinuidades así como su forma, tamaño y localización.
- Desmagnetización: la desmagnetización consiste en aplicar un campo magnético que se va a reduciendo de intensidad y cambiando de dirección hasta que el magnetismo residual en el material queda dentro de los límites permisibles.
- Aplicaciones: el ensayo de partículas magnéticas permite detectar discontinuidades superficiales (socavados, falta de fusión, poros, fisuras) y subsuperficiales (poros, grietas, laminación) en los cordones de soldadura. Se utiliza cuando se requiere una inspección más rápida que la que se logra empleando líquidos penetrantes debido a que no se necesita de una limpieza exhaustiva sobre la pieza a ser analizada. Este ensayo utiliza principalmente corriente eléctrica para crear un flujo magnético sobre el cordón de soldadura y al aplicarse un polvo ferro

magnético produce la indicación donde exista distorsión en las líneas de flujo (fuga de campo).

- Ventajas de las partículas magnéticas: con respecto a la inspección por líquidos penetrantes, este método tiene las ventajas siguientes:
 - Requiere de un menor grado de limpieza
 - Generalmente es un método más rápido
 - Puede revelar discontinuidades que no afloran a la superficie
 - Tienen una mayor cantidad de alternativas

- Limitaciones de las partículas magnéticas.
 - Son aplicables sólo en materiales ferromagnéticos
 - No tiene gran capacidad de penetración
 - El manejo del equipo en campo puede ser caro
 - Generalmente requiere del empleo de energía eléctrica
 - Solo detectan discontinuidades perpendiculares al campo

3.3.1.4. Corrientes de Eddy (ET)

El electromagnetismo, anteriormente llamado corrientes de Eddy o de Foucault, se emplea para inspeccionar materiales que sean electroconductores, siendo especialmente aplicables a aquellos que no son ferromagnéticos. Esta técnica comienza a tener grandes aplicaciones, aun cuando ya tiene más de 50 años de desarrollo.

La inspección por corriente de Eddy está basada en el efecto de inducción electromagnética. Su principio de operación es el siguiente:

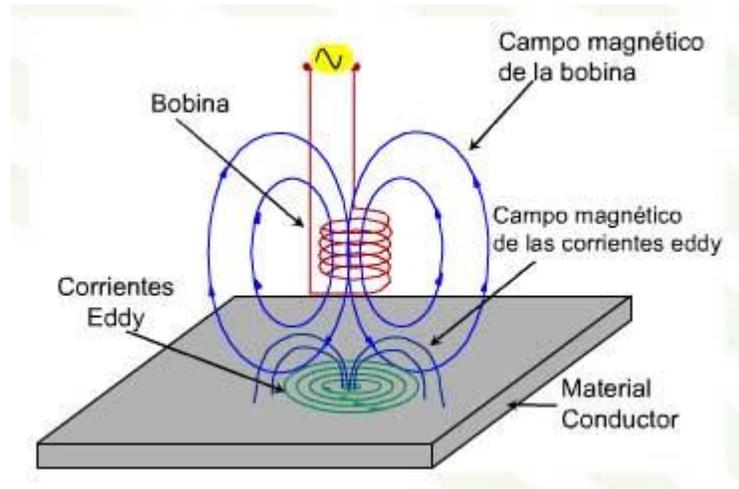
Se emplea un generador de corriente alterna, con frecuencia generalmente comprendida entre 500 Hertz y 5 000 Hertz. El generador de corriente alterna se conecta a una bobina de prueba, que en su momento produce un campo magnético. Si la bobina se coloca cerca de un material que es eléctricamente conductor, el campo magnético de la bobina, llamado primario, inducirá una corriente eléctrica en el material inspeccionado. A su vez, esta corriente generara un nuevo campo magnético (campo secundario), que será proporcional al primario, pero con signo contrario.

En el momento en que la corriente de la bobina se vuelve cero, el campo magnético secundario inducirá una nueva corriente eléctrica en la bobina. Este efecto se repetirá cuantas veces la corriente cambie de fase (al pasar de positivo a negativo y viceversa).

Es predecible que el electromagnetismo se generara entre conductores adyacentes en cualquier momento en que fluya una corriente alterna. Por otra parte, las variaciones de la conductividad eléctrica, permeabilidad magnética, geometría de la pieza o de su estructura metalúrgica, causan modificaciones en la corriente inducida del material sujeto a inspección, lo que ocasionará que varíe su campo magnético inducido, hecho que será detectado por la variación del voltaje total que fluye en la bobina.

Es conveniente aclarar que para la detección de discontinuidades por electromagnetismo, estas deben ser perpendiculares a las corrientes de Eddy.

Figura 22. **Principio de la inspección por corrientes de Eddy**



Fuente: http://www.capacitacionypnd.com/art_det.php?id=14. Consulta: 28 abril de 2014.

- Secuencia de la inspección: las etapas básicas de esta técnica de inspección son:
 - Limpieza previa: la importancia de este primer paso radica en que si bien los equipos de electromagnetismo pueden operar sin necesidad de establecer un contacto físico con la pieza, se pueden producir falsas indicaciones por la presencia de óxidos de hierro, capas de pintura muy gruesa o algún tipo de recubrimiento que sea conductor de la electricidad; en caso de que no se desee quitar las pinturas o recubrimientos, es recomendable que el patrón de calibración sea similar en el acabado superficial al de la parte sujeta a inspección.
 - Selección de la sonda de prueba: este paso es tan crítico como la selección del instrumento empleado, porque de acuerdo a la

variable sujeta a evaluación, se selecciona la sonda que se utilizará. Por este motivo es necesario conocer las ventajas y desventajas y limitaciones de cada configuración.

La capacidad de detección de una sonda es proporcional a:

- La magnitud de la corriente aplicada.
- La velocidad (frecuencia) de oscilación de la corriente.
- Las características de diseño de la sonda que incluyen: inductancia, diámetro de enrollamiento, longitud de la bobina y número de espiras.

Las sondas, según su arreglo se clasifican en dos grupos: absolutas y diferenciales.

- La sonda absoluta (o bien bobina absolutas) se consideran como aquellas que realizan las mediciones sin necesidad de una referencia directa o de un patrón de comparación.
 - Las sondas diferenciales consisten en dos o más bobinas conectadas entre sí, pero con diferente dirección de enrollamiento.
- Frecuencia de prueba: la siguiente variable a controlar, una vez seleccionada la bobina, es la selección y la frecuencia de inspección. Esta normalmente será referida al valor de una penetración normal (*standard depth penetration*) del material; al tipo de discontinuidad que se espera localizar y a la profundidad a la que se encuentra.

- Interpretación de las indicaciones: en este último paso se debe ser cuidadoso en la interpretación de los resultados, bien sean por observación en pantalla o por lectura, ya que un cambio en las propiedades del material también afecta las lecturas y por este motivo la interpretación la debe realizar un inspector con amplia experiencia en este tipo de trabajos.
- Ventajas de las corrientes de Eddy
 - Detecta y evalúa discontinuidades subsuperficiales en casi cualquier conductor eléctrico.
 - En muchos casos, la inspección por corrientes de Eddy puede ser completamente automatizada.
 - Puesto que no requiere contacto directo, puede emplearse a altas velocidades para la inspección.
 - Con esta técnica es posible clasificar y diferenciar materiales de aleaciones, tratamientos térmicos o estructura metalúrgica, siempre y cuando presenten una diferencia significativa de conducción.
 - Es excelente para la inspección de productos tubulares, de preferencia fabricados con materiales no ferromagnéticos, como son los empleados en algunos tipos de intercambiadores de calor, condensadores o sistemas de aire acondicionado.
- Limitaciones de las corrientes de Eddy
 - Debe eliminarse de la superficie cualquier tipo de contaminación o suciedad que sea magnética o eléctricamente conductora.

- Generalmente la bobina de prueba debe diseñarse en especial para una pieza específica.
- La profundidad de la inspección está limitada aproximadamente a 6 milímetros de la penetración y depende de la frecuencia elegida para excitar el campo electromagnético y el tipo de material que se esté inspeccionado.
- Se requiere de gran entrenamiento para calibrar y operar adecuadamente el equipo de prueba.
- La señal es sensible a las diferencias en composición y estructura del material, lo que enmascara pequeños defectos o proporciona indicaciones falsas.

3.3.2. Ensayos volumétricos

Su aplicación permite conocer el estado de un material en todo su volumen y detectar discontinuidades internas que no son visibles en la superficie de la pieza.

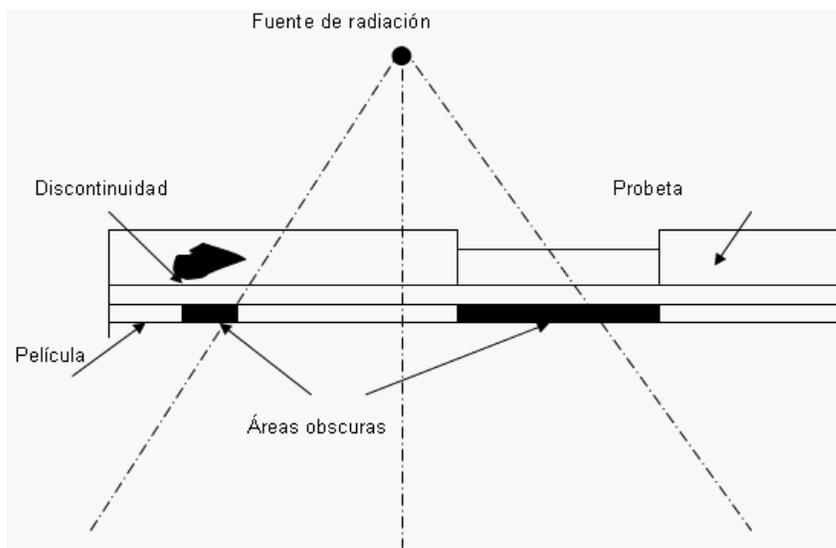
Este tipo de inspecciones se realiza por medio de cualquier de los siguientes ensayos.

3.3.2.1. Radiografía industrial (RT)

La radiografía industrial, como prueba no destructiva, es muy interesante; pues permite asegurar la integridad y confiabilidad de un producto; además, proporciona información para el desarrollo de mejores técnicas de producción y para el perfeccionamiento de un producto en particular.

La inspección por radiografía industrial se define como un procedimiento de inspección no destructivo de tipo físico, diseñado para detectar discontinuidades macroscópicas y variaciones en la estructura interna o configuración física de un material. En la figura 23 se muestra una imagen del arreglo radiográfico empleado con mayor frecuencia.

Figura 23. **Arreglo radiográfico convencional**



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos30/radiografia-industrial/Image592.gif>. Consulta: 24 abril de 2014.

Al aplicar la radiografía industrial, normalmente se obtiene una imagen de la estructura interna de una pieza o componente, debido a que este método emplea radiación de alta energía, que es capaz de penetrar materiales sólidos, por lo que el propósito principal de este tipo de inspección es la obtención de registro permanentes para el estudio y evaluación de discontinuidades presente en dicho material. Por lo anterior, esta prueba es utilizada para detectar discontinuidades internas en una amplia variedad de materiales.

Dentro de los ensayos no destructivos, la radiografía industrial es uno de los métodos más antiguos y de mayor uso en la industria. Debido a esto, continuamente se realizan nuevos avances que modifican las técnicas radiográficas al estudio no solo de materiales, sino también de partes y componentes; todo con el fin de hacer más confiables los resultados durante la aplicación técnica.

El principio físico en el que se basa esta técnica es la interacción entre la materia y la radiación electromagnética, siendo esta última de una longitud de onda muy corta y de alta energía.

Durante la exposición radiográfica, la energía de los rayos x o gamma es absorbida o atenuada al atravesar un material. Esta atenuación es proporcional a la densidad, espesor y configuración del material inspeccionado.

La radiación ionizante que logra traspasar el objeto puede ser registrada por medio de la impresión en una placa o papel fotosensible, que posteriormente se somete a un proceso de revelado para obtener la imagen del área inspeccionada; o bien, por medio de una pantalla fluorescente o un tubo de video, para después analizar su imagen en una pantalla de televisión o grabarla en una cinta de video.

En términos generales, es un proceso similar a la fotografía, con la diferencia principal de que la radiografía emplea rayos x o rayos gamma y no energía luminosa.

En la actualidad, dentro del campo de la industria existen dos técnicas comúnmente empleadas para la inspección radiográfica: radiografía con rayos x y la gammagrafía que utiliza rayos gamma.

La principal diferencia entre estas dos técnicas es el origen de la radiación electromagnética; ya que, mientras los rayos x son generados por un alto potencial eléctrico, los rayos gamma se producen por desintegración atómica espontánea de un radioisótopo.

Los rayos x son generados por dispositivos electrónicos y los rayos gamma por fuentes radioactivas naturales o por isotopos radiactivos artificiales producidos para fines específicos de radiografía industrial, tales como: iridio 192, cobalto 60, cesio 137 y tulio 170.

- Aplicaciones: aunque la mayoría de las aplicaciones en las pruebas de radiografía industrial parece involucrar soldaduras y piezas de fundición, se ha aplicado efectivamente a muchas otras formas de productos que abarcan una amplia variedad de industrias. Entre estas industrias se encuentran:
 - Aeroespacial. Hay un sin número de usos de la radiografía en la industria aeroespacial. Los componentes críticos del motor de la aeronave en sí piden miles de radiografías. La armadura del avión y otras estructuras relacionadas dependen en gran medida de la radiografía para iniciar la inspección en servicio. La entrada de agua en las células de nido de abeja puede causar problemas debido a la congelación cuando la aeronave está en el aire. Técnicas radiográficas pueden detectar con eficacia esta condición en la mayoría de los casos.
 - Petroquímica. La radiografía es de gran importancia en la construcción inicial de plantas petroquímicas.

Teniendo en cuenta las muchas condiciones de servicio en las que este tipo de complejo opera, establecer una línea de base a través de la radiografía es de extrema importancia.

Es necesario inspección en servicio y la radiografía industrial juega un papel clave. La detección de las áreas de degradación, corrosión, erosión, desgaste, y otras condiciones que se desarrollan a través de la operación prolongada debe ser detectado y corregido antes de que sea necesario un apagado no planeado. Aparte de los costos de construcción inicial, las interrupciones no planificadas son los eventos más costosos en esta industria

- No metales. Esta categoría incluye una amplia variedad de materiales que son inspeccionados por radiografía, incluyendo plásticos, caucho, propelentes, cerámica, grafito, cemento, explosivos, y muchos más. La industria electrónica, también pertenece a este segmento de la industria, porque hay algunos metales involucrados.

Finalmente, resta aclarar que la corta longitud de onda de la radiación que emplea la radiografía le permite penetrar materiales sólidos, lo que da lugar al uso de esta técnica en control de calidad de productos soldados, fundiciones, forja, otros. para la detección de defectos internos macroscópicos tales como grietas, socavados, penetración incompleta en la raíz, falta de fusión, entre otros.

- Ventajas de la radiografía industrial
 - Es un excelente medio de registro de inspección.
 - Su uso se extiende a diversos materiales.
 - Se obtiene una imagen visual del interior de la inspección.
 - Descubre los errores de la fabricación y ayuda a establecer las acciones correctivas.

- Limitaciones de la radiografía industrial
 - No es recomendable utilizar en piezas de geometría complicada.
 - No debe emplearse cuando la orientación de la radiación sobre el objeto sea inoperante, ya que no es posible obtener una definición correcta.
 - La pieza en inspección debe tener acceso por ambos lados.
 - Su empleo requiere el cumplimiento de estrictas medidas de seguridad.
 - Requiere personal altamente capacitado, calificado y con experiencia.
 - Requiere de instalaciones especiales como son: el área de exposición, equipo de seguridad y un cuarto oscuro para el proceso de revelado.
 - Las discontinuidades de tipo laminar no pueden ser detectas por este método.

3.3.2.2. Ultrasonido industrial (UT)

Este sistema de inspección tiene sus orígenes en los ensayos de percusión, en los cuales los materiales eran golpeados con un martillo y se

escuchaba cuidadosamente el sonido que la pieza examinada emitía. La desventaja de estos ensayos es que solo permitían detectar defectos de una magnitud tal que ocasionaran un cambio en el tono del sonido que emitía el material sujeto a prueba y por este motivo era poco confiables en la inspección preventiva.

Las ondas de sonido son simplemente las vibraciones de las partículas que componen un sólido, líquido, o gas. Como una forma de energía que, por lo tanto, son un ejemplo de la energía mecánica, y se deduce que, ya que debe haber algo para que vibre, no pueden existir ondas de sonido en el vacío.

La audición es el único sentido humano que puede detectar las ondas de sonido, este sentido se limita a un rango relativamente estrecho de frecuencias de vibraciones llamados gama audible de ellos se deduce que habrá frecuencias de vibración que pueden ser tan bajas o tan altas que no pueden ser detectados por el oído humano.

La unidad de frecuencia es el Hertz, que se define como un ciclo de vibraciones por segundo. Sonidos por debajo de 16 Hertz están fuera del límite de la audición humana y son llamadas vibraciones subsónicas, sonidos aproximadamente por encima de 20 000 Hertz son demasiados altos para ser oídos estas son llamadas vibraciones ultrasónicas

La examinación por ultrasonido industrial se define como un procedimiento de inspección no destructiva de tipo mecánico, que se basa en la impedancia acústica, la que se manifiesta como el producto de la velocidad máxima de propagación del sonido entre la densidad de un material.

Los equipos de ultrasonido que se emplean actualmente permiten detectar discontinuidades superficiales, subsuperficiales e internas, dependiendo del tipo de palpador utilizado y de la frecuencia que se seleccione dentro de un ámbito de 0,5 megahertz hasta 25 megahertz.

- Secuencia de la inspección por ultrasonido industrial: los cables que se utilizan para realizar el ensayo de ultrasonido industria son del tipo coaxial para prevenir problemas de interferencia eléctrica y sus conexiones deben ser compatibles con las del instrumento y el palpador a emplear.

La selección del palpador es uno de los puntos más críticos, ya que de él dependerá en gran medida la calidad de la inspección. Los factores a ser tomados en cuenta para la selección de un palpador son:

- Número de elementos piezoeléctricos
- El tipo de inspección (contacto, inmersión, alta temperatura)
- El diámetro del elemento piezoeléctrico
- La frecuencia de emisión
- El ángulo de refracción
- El tipo de banda
- El tipo de protección antidesgaste

Por lo común, las normas establecen las condiciones mínimas que deben cumplir los palpadores.

Las ondas ultrasónicas son generadas por un cristal o un cerámico piezoeléctrico dentro del palpador; este elemento, que se llama transductor, tiene la propiedad de transformar la energía eléctrica en energía mecánica y

viceversa. Al ser excitado eléctricamente, y por el efecto piezoeléctrico, el transductor vibra a altas frecuencias (lo que genera ultrasonido); estas vibraciones son transmitidas al material que se desea inspeccionar. Durante el trayecto en el material, la intensidad de la energía sónica sufre una atenuación, que es proporcional a la distancia recorrida.

Cuando el haz sónico alcanza la frontera del material, dicho haz es reflejado. Los ecos o reflexiones del sonido son recibidos por otro (o por el mismo) elemento piezoeléctrico y su señal es filtrada e incrementada para ser enviada a un osciloscopio, en donde la trayectoria del haz es indicada por las señales de la pantalla; también puede ser transmitidas a un sistema gráfico, donde se obtiene un perfil acústico de la pieza; o una pantalla digital, donde se leerá un valor o a una computadora, para el análisis matemático de la información lograda.

Es importante apuntar la necesidad de emplear un acoplante (aceite, grasa o glicerina) con objeto de que el sonido pueda transmitirse del transductor a la pieza de trabajo sin que existan grandes pérdidas de energía en la interferencia acústica conformada por el espacio de aire entre el metal o el material a examinar y el palpador.

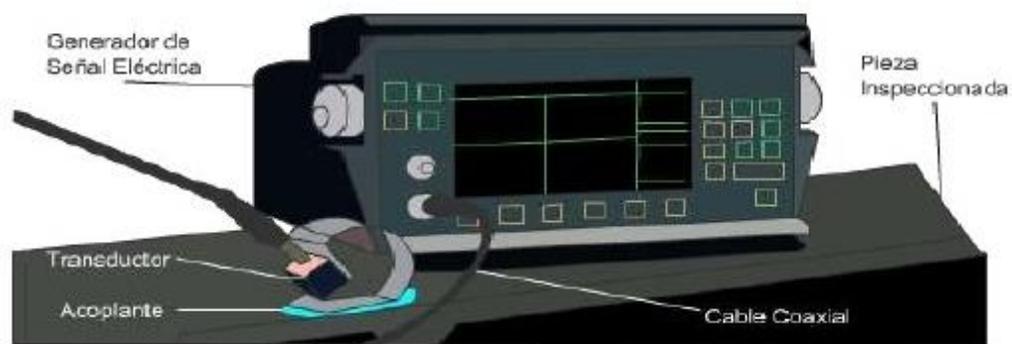
El acoplante debe reunir las siguientes características para emplearlo con confianza: de fácil remoción después de terminar la inspección, su costo será bajo y fácil de adquirir, entre los acoplantes utilizados se encuentran los siguientes:

- Agua
- Queroseno
- Aceite

- Glicerina
- Geles diseñados específicamente para este propósito

Cabe aclarar que algunas normas o códigos son rígidamente específicos en el tipo de acoplante a ser empleado, quedando limitado al empleo de agua, glicerina o gel de celulosa.

Figura 24. **Principio de la inspección por ultrasonido**



Fuente: HELLER, Charles. *Handbook of nondestructive evaluation*. p. 7.31.

- Aplicaciones: el ultrasonido industrial es un ensayo no destructivo ampliamente difundido en la evaluación de materiales metálicos y no metálicos.

Es frecuente su empleo para la medición de espesores, detección de zonas de corrosión, detección de defectos en piezas que han sido fundidas y forjadas, laminadas o soldadas; para la verificación de nuevos materiales como son los metal-cerámicos y los materiales compuestos, ha tenido una gran aceptación, por lo sencillo y fácil de aplicar como método de inspección para el control de calidad de materiales, bien en el

estudio de defectos (internos, subsuperficiales y superficiales) y en la toma de mediciones como: mediciones de espesores (recipientes de acero).

- Ventajas del ultrasonido industrial
 - Se puede aplicar esta técnica en una gran gama de materiales y a un gran número de productos conformados, como: chapas, ejes, vigas, tubos, varillas, otros..., y a procesos de fabricación tales como: soldaduras, fundición, laminación, forja, mecanizado, otros...
 - Permite detectar discontinuidades tanto superficiales, subsuperficiales e internas.
 - Los equipos pueden ser portátiles y adaptables a un gran número de condiciones.

- Limitaciones del ultrasonido industrial
 - El equipo y los accesorios son costosos.
 - Deben emplearse varios tipos de palpadores a fin de determinar todas las discontinuidades presentes en la pieza, preferiblemente cuando se trata de piezas que no han sido ensayadas anteriormente.
 - El personal destinado a realizar los ensayos debe poseer una amplia experiencia y calificación en el manejo de la técnica y equipos.
 - No queda un registro físico 100 por ciento confiable del ensayo realizado, sino se tiene que confiar en la habilidad y experiencia del técnico que aplico el ensayo.

3.3.2.3. Emisión Acústica (AE)

La emisión acústica ha tomado gran impulso en los últimos años por ser capaz de determinar las condiciones generales de equipos y materiales en servicio.

El principio de la emisión acústica es la detección de ondas elásticas que se crean de forma espontánea en aquellos puntos del material que se está deformado de manera elástica o plástica, al ser sometidos a un esfuerzo (carga estática o dinámica), o por esfuerzos residuales que están presentes en el material.

La emisión acústica se presenta como pulsos definidos que se propagan en el material de forma radial a la velocidad del sonido. Los pulsos se caracterizan por tener la forma de un tren de ondas atenuadas y con una amplia variedad de frecuencias que pueden variar desde la región audible, hasta varios megahertz.

La duración del pulso es muy corta, del orden de los nanosegundos a los milisegundos, por lo que su detección debe efectuarse por medios electrónicos; aunque la señal producida es también muy débil, del orden de unos cuantos electrón-voltio.

- Requisitos y secuencias de la inspección por emisión acústica: lo primero que se debe realizar es la selección de la frecuencia de rastreo y éstas dependerán del origen de la onda y el tipo de discontinuidad que se desea detectar.

El siguiente paso es la selección de los puntos en los cuales se deben localizar los transductores; ya que la determinación de la ubicación de los defectos es por medio de triangulación, en función del tiempo que tarda la señal en ser recibida por los distintos elementos.

Una vez que el equipo está colocado y se han calibrado los instrumentos, se inicia la prueba aplicando un esfuerzo mecánico a una velocidad conocida, las señales que emita el componente se registran y graban por medio de computadoras, las cuales analizan la cantidad de eventos que se detectan por unidad de tiempo, la intensidad de las emisiones y el tiempo que tardan las señales en ser registradas por los diferentes transductores.

El último pasó y el más crítico es determinar el tipo de emisor que ha generado la emisión acústica, a fin de saber si es tan solo producto de una deformación elástica o de la deformación de una fractura que se está desarrollando durante la distorsión de material.

- Aplicaciones: la emisión acústica es una nueva técnica, que ha tenido un gran desarrollo, especialmente con la aceptación del empleo de computadoras para el proceso de datos como medio de interpretación de resultados. Se emplea en el estudio de estructuras sujetas a esfuerzos cíclicos, como en el caso de las estructuras aeronáuticas, los recipientes a presión y edificios o puentes. Otra aplicación es la evaluación del comportamiento de nuevos materiales, como es el caso de los tejidos a base kevlar; de las fibras de elementos cerámicos y los materiales compuestos a base de cerámicos, metales y de plásticos reforzados con fibras.

- Ventajas de la emisión acústica
 - Permite detectar un defecto o fractura durante su desarrollo, aun antes de que sea posible detectarla por algún otro tipo de ensayo no destructivo.
 - Permite tener un patrón del comportamiento de la estructura sujeta a prueba, la cual puede ser tomada como referencia para evaluar su comportamiento después de haber estado en servicio y conocer si ha surgido algún daño o debilitamiento.

- Limitaciones de la emisión acústica
 - La interpretación de los resultados; ya que para una evaluación completa se requiere de procesadores que tengan alta velocidad y gran capacidad de memoria y almacenamiento; motivo por el cual un trabajo de inspección por emisión acústica puede realizarse rápidamente pero a un costo relativamente elevado.
 - El personal que realiza este tipo de pruebas debe tener una gran capacidad y experiencia en la interpretación de señales y la disposición de los transductores de inspección.

3.3.3. Ensayos de hermeticidad

Son aquellas en las que se comprueba la capacidad de un componente o de un recipiente para contener un fluido (líquido o gaseoso) a una presión superior, igual o inferior a la atmosférica, sin que existan pérdidas apreciables de presión o de volumen del fluido de prueba en un período previamente establecido.

Este tipo de inspección se realiza empleando cualquiera de los siguientes ensayos.

3.3.3.1. Prueba de fugas

Las pruebas de detección de fugas son un tipo de pruebas no destructivas que se utilizan en sistemas o componentes presurizados o que trabajan en vacío, para la detección, localización de fugas y la medición del fluido que escapa por estas. Las fugas son orificios que pueden presentarse en forma de grietas, fisuras, hendiduras, otros, donde puede escaparse algún fluido.

La detección de fugas es de gran importancia, ya que una fuga puede afectar la seguridad o desempeño de distintos componentes y reducen enormemente su confiabilidad. Generalmente, las pruebas de detección de fugas se realizan:

- Para prevenir fugas de los materiales que puedan interferir con la operación de algún sistema.
- Para prevenir explosiones y contaminación ambiental, o dañar al ser humano.
- Para detectar componentes no confiables o aquellos en donde el volumen de fuga exceda los estándares de aceptación.

El propósito de estas pruebas es asegurar la confiabilidad y servicio de componentes y prevenir fallas prematuras en sistemas que contienen fluidos trabajando a presión o en vacío. Los componentes o sistemas a los cuales generalmente se les realiza pruebas de detección de fugas son:

- Recipientes y componentes herméticos

- Sistemas herméticos
- Recipientes y componentes al vacío
- Sistemas generadores de vacío

Las pruebas de fugas comúnmente utilizadas se basan en uno o más de los siguientes principios.

Tabla II. Tipos de pruebas de fugas

TIPOS DE PRUEBAS DE FUGAS	
Burbujeo	Este ensayo se basa en el principio de generación o liberación de aire o gas de un contenedor, cuando este se encuentra sumergido en un líquido. Se emplean frecuentemente en instrumentos presurizados, tuberías de procesos y recipientes. Es una prueba más bien cualitativa que cuantitativa, ya que es difícil determinar el volumen de la fuga.
Medición de presión	Este tipo de prueba se utiliza para determinar si existen flujos de fuga aceptable, determinan si existen condiciones peligrosas, componentes y equipos defectuosos. Se puede obtener una indicación de fuga relativamente exacta al conocer el volumen y presión del Sistema y los cambios de presión respecto al tiempo que provoca la fuga
Detección de Halógenos	Este tipo de prueba es más sensitiva que los anteriores. Fugas tan pequeñas como $10^{-5} \text{ cm}^3/\text{s}$ pueden detectarse con facilidad. Las dos limitantes de este ensayo son que se necesitan gases de trazado especiales y el uso de calentadores a alta temperatura, lo cual resulta inconveniente en ambientes peligrosos.
Espectrómetro de Helio	Se considera la técnica de detección de fugas, tanto industrial como de laboratorios, más versátil. Tiene las mismas limitantes que el ensayo por detección de halógenos porque se requiere de helio como gas de trazado y el tubo del espectrómetro se mantiene a alta temperatura mediante filamentos calefactores. La sensibilidad es del orden $10^{-11} \text{ cm}^3/\text{s}$

Fuente: elaboración propia.

La selección del método a utilizar generalmente se basa en el tipo de fuga a detectar, el tipo de servicio del componente en cuestión y el costo de la pruebas.

3.3.3.2. Pruebas de fuga hidrostáticas

Es la aplicación de una presión a un equipo o línea de tuberías fuera de operación, con el fin de verificar la hermeticidad de los accesorios bridados y la soldadura, utilizando como elemento principal el agua o en su defecto un fluido no corrosivo. Todo equipo nuevo debe ser sometido a una prueba de presión (hidrostática). La prueba hidrostática también aplica cuando se reemplaza o se reparan líneas existentes.

Por lo general, un equipo que haya sido probado en los talleres del fabricante no debería ser probado nuevamente después de su instalación, a menos que sea requerido por algunas de las autoridades locales o si existe alguna sospecha de que el equipo haya sufrido algún daño durante el transporte, por lo que la prueba se llevará a cabo de acuerdo al código de diseño o a las especificaciones del caso.

Los códigos de diseño de los equipos y sistemas de tuberías (ASME, API, entre otros) establecen claramente las prácticas recomendadas de cómo realizar la prueba hidrostática, con el fin de garantizar la integridad física de las personas y los equipos.

- Fluido de prueba: el fluido deberá ser agua a menos que exista la posibilidad de daños debido al congelamiento o a efectos adversos del agua en la tubería o el proceso.

En este caso, otro líquido apropiado no tóxico podrá usarse. Si el líquido es inflamable deberá serlo a más de 49 grados Celsius (120 °F), y deberán tomarse en consideración las condiciones ambientales de la prueba. ⁴

- Presión de prueba: la prueba de presión hidrostática en cualquier punto en un sistema de tubería metálico deberá respetar lo siguiente.
 - No menos de una vez y media (1 ½) la presión de diseño;⁵
 - Cuando el sistema de tubería contiene más de un material o más de una temperatura de diseño la ecuación (1) debe ser usada para cada combinación, excluyendo elementos de soportes de tuberías y empernados, el valor máximo calculado de P_t es la presión de prueba mínima.⁶

$$P_t = 1,5 P R_r$$

Donde:

P = presión de diseño interna

P_t = presión de prueba mínima

R_r = índice de clasificaciones de presión de los componentes con clasificación establecido pero no debe exceder 6,5

⁴ ASME B31.3-2010, Tubería de procesos. p. 86

⁵ Ibid

⁶ Ibid

- Procedimiento
 - Se preverán desfuegos en todos los puntos altos del sistema de tuberías para expulsar los bolsones de aire que se hubieren formado cuando la tubería está siendo llenada con líquidos de prueba.
 - Se aislarán las tuberías o partes que no estén sometidas a pruebas.
 - La presión deberá ser incrementada gradualmente hasta alcanzar el 50 por ciento de la presión de prueba, momento en el cual debe hacerse una inspección visual a todas las juntas. Posteriormente se continúa incrementando gradualmente la presión hasta llegar a la presión de prueba. En ese momento se realizará la inspección a toda la tubería.

- Detección de fugas: la inspección debe ser visual en todo el sistema de tubería, incluyendo válvulas y accesorios, a fin de detectar fugas del líquido de prueba.

- Características de la prueba hidrostática: la prueba hidrostática nos permite:
 - Determinar la calidad de la ejecución del trabajo de fabricación o reparación de la línea o equipo.
 - Comprobar las condiciones de operación para garantizar la seguridad tanto de las personas como de las instalaciones.
 - Detectar fugas.
 - Verificar la resistencia mecánica.
 - Verificar la hermeticidad de los accesorios.

3.3.3.3. Prueba de fuga neumática

La prueba de fuga neumática es un procedimiento que utiliza la presión del aire para comprobar que en las tuberías no haya fuga. Este método no sólo sirve para identificar fugas, sino también para limpiar y secar el sistema de tuberías, permitiendo que la tubería quede lista al final de la prueba. La prueba neumática se utiliza cuando otros métodos no son factibles; por ejemplo, en caso de congelamiento, la prueba con agua se ve imposibilitada.

- Fluido de prueba: el fluido a usarse será aire o gas inerte (N_2 o CO_2). La prueba neumática representa un peligro por la liberación de energía almacenada en el gas comprimido; por lo tanto, se debe tener especial cuidado a fin de minimizar el riesgo de falla durante la ejecución de la prueba.⁷
- Presión de prueba : la presión de prueba no debe ser inferior a 1,1 veces la presión de diseño y no debe exceder el valor menor de:
 - 1,33 veces la presión de diseño.
 - La presión que produciría un esfuerzo nominal de presión o longitudinal por encima del 90 por ciento del límite elástico de cualquiera de los componentes a la temperatura de prueba.
- Procedimiento: la presión se aumentara gradualmente hasta que la presión manométrica alcanzada se menor que la mitad de la presión de prueba o 170 kilopascales (25 psi), momento en el cual, se realizara una revisión preliminar, incluido un examen de juntas.

⁷ASME B31.3-2010, Tubería de procesos. p. 87.

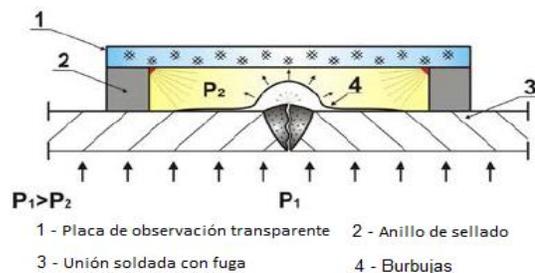
A continuación, la presión de prueba se aumentará gradualmente en escalones hasta que la presión de prueba se alcance, manteniendo la presión de prueba en cada paso, el tiempo suficiente para ecualizar las deformaciones de la tubería. La presión se reducirá entonces a la presión de diseño, antes de examinar las fugas.⁸

- Detección de fugas: para la detección de fugas se usará agua jabonosa aplicada en todas las juntas del sistema de tuberías y la inspección será visual y directa para ubicar fugas.

3.3.3.4. Prueba de vacío

La prueba de vacío se ejecuta comúnmente sobre las soldaduras de extrusión y se puede utilizar en casos excepcionales sobre las soldaduras de fusión. El equipo consta de una caja de material apropiado con la cara superior transparente, medidor de vacíos, bomba de succión y solución jabonosa.

Figura 25. Principio de la prueba de vacío



Fuente: JANUSZ CZUCHRYJ, Adam Pilarczyk, *Testing leaktightness of welded joints using a bubble test with a vacuum cap*. Consulta: abril de 2014.

⁸ ASME B31.3-2010, Tubería de procesos. p. 87.

- Procedimiento de la prueba
 - La unión a ensayar debe estar limpia, exenta de polvo.
 - Preparar una solución de agua y jabón detergente y mojar una sección de la unión utilizando una escobilla.
 - Colocar la caja de vacío sobre el área con solución jabonosa y aplicar el peso del cuerpo para formar una junta entre el sello de espuma y el revestimiento de tal manera que la junta este al centro.
 - Debido a la acción de la bomba de vacío, el aire dentro de la caja será succionado creando una presión negativa entre 21 y 34 kilopascales (3 a 5 psi).
 - Mantener la presión por lo menos por 15 segundos.
 - Observar la junta a través de la parte transparente de la caja. En caso de existir fuga, serán detectadas porque se formarán burbujas con la solución jabonosa en el punto de falla. En ese caso, se debe retirar el equipo y hacer una marca para una posterior reparación y ensayo.
 - Si no se observan burbujas se da por terminado el ensayo y se trasladará la caja sobre la siguiente área húmeda para probarla con un ligero traslape (7,5 cm o 3 pulgadas).
 - Terminado de ensayar el cordón completo, se deberá anotar en los formularios de ensayos no destructivos la información recabada.

- Aplicaciones de la pruebas de vacío.
 - Soldaduras de solape y a tope
 - Sistemas de tuberías y recipientes a presión

- Fondos de tanques
- Objetos en el que un diferencial de presión se pueda crear a través de la zona a examinar

- Ventajas.
 - Proporciona una indicación inmediata visual de la localización de cualquier fuga presentes.
 - Puede detectar fugas pequeñas dentro de un área dada.

- Limitaciones.
 - El tamaño y la orientación de las fugas deberán ser analizados con un método de END secundaria.
 - Para la temperatura estándar del material de prueba de superficie de pruebas debe ser de entre 5 y 50 grados Celsius. De lo contrario, un procedimiento efectivo en el rango de temperatura debe ser demostrada.

4. CONTROL DE LA CALIDAD EN FABRICACIÓN, ARMADO Y PROCESO DE SOLDADURA EN TUBERÍA DE VAPOR DE ESCAPE

4.1. Control de calidad

El control de calidad son todas las herramientas necesarias para determinar si un proceso y/o servicio se realiza sin errores y a continuación se encuentra la definición de control de calidad.

4.1.1. ¿Qué es control de calidad?

El término control de calidad se refiere a un sistema dentro de una planta de fabricación u otro organización, por medio del cual se busca que los productos fabricados sean conformes con los parámetros específicos que definen la calidad del producto o servicio.⁹

4.1.2. Importancia del control de calidad

La importancia de un programa de control de calidad radica, no solo en garantizar a la dirección que se puede conseguir y mantener una buena calidad en la producción, sino también en que logra reducir los costos, evitar reproceso durante la fabricación e incrementa la producción en la planta.

Ronald H. ⁹ *Control de calidad y beneficio empresarial*, p.3.

4.1.3. Descripción del control de calidad durante las etapas de fabricación, armado y aplicación de soldadura en tubería de vapor de escape según Norma ASME B31.3

El control de calidad durante la etapa de fabricación, armado y aplicaciones de soldadura se llevarán de la siguiente manera:

Se verificará con bodega, al momento que se reciba el metal base enviado por el cliente, que este sea el que se haya solicitado según el diseño. Luego se procederá a verificar que el metal de aporte que se utilizará en la fabricación de los tubos sea el requerido por el procedimiento de soldadura calificado.

Para la fabricación se verificará que la lámina tenga las medidas correctas, si en dado caso la lámina tenga medidas incorrectas se procederá al corte y/o escuadre de la lámina. Ya escuadrada se le dará el ángulo de bisel a los bordes, según lo establecido en el procedimiento de soldadura (WPS).

Teniendo las láminas ya escuadradas y los biseles preparados se procederá con el rolado, el cual se verificara mediante el uso de plantillas.

Durante el armado de secciones de tubería se verificará que las juntas longitudinales y circunferenciales no tenga High-Low y si tiene que se encuentre dentro de la tolerancia permitida. Se verificará que la abertura de raíz sea la adecuada según el procedimiento de soldadura y que el traslapé de juntas se encuentre según el diseño.

Al tener completo el armado del tubo, se deberá verificar si el mismo cumple con las tolerancias dimensionales y de armado establecidas en la Norma AWWA C-200, este control conlleva las mediciones de redondez del diámetro y la verificación de la rectitud del tubo.

Luego se procederá a la aplicación de soldadura, previo a este paso se deberá verificar que los soldadores estén calificados según la sección IX del código ASME. Al iniciar los trabajos se deberá tener inspección visual permanentemente de los trabajos de soldadura (verificándose cada uno de los pases que se apliquen), teniendo el tubo soldado se realizará de nuevo el control dimensional para verificar que no se halla deformado por el calor al que fue sometido durante la aplicación de soldadura.

Habiendo aprobado la inspección visual de soldadura y el control dimensional se procederá a la realización de muestreos por medio de ensayos no destructivos volumétricos. Para cubrir esta parte se utilizará el ensayo de ultrasonido industrial, con el cual se tomara una muestra al 10 por ciento del total de pies de soldadura aplicada en cada tubo que se fabrique.

Por último se procederá a la elaboración del reporte de calidad de cada uno de los tubos.

Figura 26. **Diagrama de control de calidad durante fabricación, armado y aplicaciones de soldadura**



Fuente: elaboración propia.

4.1.4. Control de calidad en la fabricación, armado y aplicaciones de soldadura en tubería de vapor de escape

Debe existir un control de calidad en el proceso de fabricación de tuberías, ya que una fuga, ruptura, puede provocar el escape de vapor, lo cual puede causar algún accidente.

4.1.4.1. Verificación de materia prima e insumos

El control de calidad se inicia con la verificación de la materia prima e insumos que se utilizarán para la fabricación de tubería de vapor de escape.

El metal base que se utilizará en la fabricación de tubería de vapor de escape es acero ASTM A-36 , para corroborar que las láminas enviadas por el proveedor cumpla con las especificaciones del acero ASTM A-36 se verificará el certificado que brinda el proveedor y se corroborará con la sección II del Código ASME para verificar que los datos coincidan. Luego se verificarán que los números de lote de fabricación de cada lámina concuerden con los que corresponden al certificado que se nos proporcionó. Se realizará inspección visual a cada lámina para verificar que esta no posea ningún defecto que se haya generado durante su fabricación y este pueda ser motivo de rechazo al momento de comenzar la fabricación de la tubería.

Figura 27. Estampa de lámina ASTM A-36



Fuente: archivo PSMI S. A.

Como se muestra en la figura 27, cada lámina enviada por el proveedor tiene indicadas las dimensiones que esta posee, en este caso es una lámina de 12,7 milímetros de espesor por 1,829 milímetros de ancho por 6,096 milímetros de largo, seguido de las indicaciones dimensionales se encuentran los números de lote seguido por la empresa que solicitó el pedido y el lugar donde se fabricó.

Para la verificación del material de aporte que se utilizará durante los diferentes procesos de fabricación, se utilizará el que está especificado en el procedimiento de soldadura (WPS) creado para el proyecto, se verificarán las certificaciones del material de aporte y se corroborará con la sección II del Código ASME para ver si dichos insumos cumplen con los requisitos para poder ser utilizados.

4.1.4.2. Diseño de procedimiento de soldadura (WPS)

El procedimiento de soldadura o WPS (*welding procedure specification*) es un documento que provee las directrices para realizar la soldadura con base en los requerimientos del código, proporciona igualmente la información necesaria para orientar al soldador u operador de soldadura y asegurar el cumplimiento de los requerimientos del código. Describe las variables esenciales y no esenciales y cuando se requiere, las variables suplementarias esenciales de cada procedimiento de soldadura.

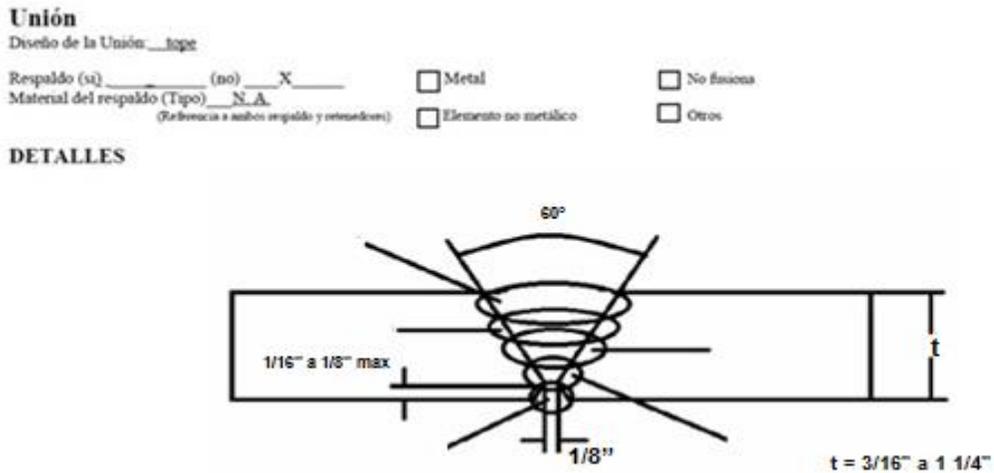
El Código ASME sección IX estándar para la calificación de procedimientos de soldadura, soldadores y operadores de soldadura, da los lineamientos para desarrollar el procedimiento de soldadura.

- Diseño de juntas: el Código ASME sección IX especifica en el apartado QW-402, los cambios o variables que se deben tomar en cuenta en la selección de la junta.

Las variables que se deben considerar al evaluar el tipo de junta incluyen: el espesor de placa a unir, las tolerancias de separación de raíz, el ángulo de bisel. Los materiales y procedimientos necesarios para preparar las juntas y las especificaciones de acabado, deben estar incluidos en las especificaciones del procedimiento.

Para el diseño se utilizó una junta a tope con preparación de borde en V sin placa de respaldo, con un ángulo de chaflán de 60, la altura del talón de 1/8 de pulgada, la tolerancia en la abertura de raíz va de 1/16 a 1/8.

Figura 28. **Diseño de juntas**



Fuente: TESTING S. A.

- Metal base: el metal base son las piezas donde se desarrolla la soldadura, al evaluar el metal a utilizar en la soldadura debe conocerse su composición química, las indicaciones reconocidas, para su uso así como cualquier tratamiento térmico que deba darse antes de soldarlo.

El Código ASME sección IX específica en la tabla QW-422, los números P y grupos a los que pertenecen los metales bases así como las composiciones y propiedades químicas que estos poseen.

Para reducir el número de procedimientos que requieren calificación se asignan el numero P a los metales base dependiendo de sus características tales como composiciones químicas, soldabilidad, y propiedades mecánicas.

Para los aceros o aleaciones de aceros, adicionalmente a los números P se asigna grupos G. En el anexo A se presentan los metales bases designados por su P-No. según el Código ASME.

A continuación se describen el grupo del material base a utilizar en el procedimiento de soldadura.

Tabla III. **Metal base**

Metal BASE			
P No. 1	Grupo No.1	a P No. 1	Grupo No.1
Tipo, especificación y grado: ASTM A-36			
A tipo, Especificación y grado: ASTM A-36			
Análisis químico o propiedades mecánicas: N.A			
A análisis químico o propiedades mecánicas: N.A			
Rango de espesores: 3/16" a 1 1/4"			
Metal base:	Bisel: 3/16" a 1 1/4"	Filete: Ilimitado	
Rango de diámetros de tubería: N.A	Bisel: N. A.	Filete : N. A.	
Otros: de 3/16" en lamina a espesor de 1 1/4"			

Fuente: TESTING S. A.

- Metal de aporte: es el metal que sirve para aumentar la cantidad de hierro entre la junta de los metales base que se van a unir, al evaluar el metal de aporte es necesario especificar la clasificación AWS del electrodo, la clasificación SFA, el análisis químico (número A) ver anexo B, la clasificación del electrodo por la Norma ASME IX (número F) ver anexo C, y el diámetro del metal de aporte a utilizar.

La información que se suministra depende del proceso de soldadura, ya que hay condiciones que son únicas para cada proceso. En este caso la información que se recabo es para un proceso combinado SMAW – GMAW.

El metal de aporte que se utilizara para la aplicación de soldadura en la fabricación de tubería de vapor de escape es el siguiente: para la soldadura SMAW se utilizara electro E 7018 y para GMAW se utilizará alambre ER 70-S.6.

En la tabla IV se describen las diferentes clasificaciones del material de aporte a utilizar en el procedimiento de soldadura.

Tabla IV. **Clasificación de metal de aporte**

Metal de aporte	
Spec. No. (SFA)	GMAW 5.18 & SMAW 5.1
AWS No.	GMAW ER70S-6 & SMAW E-7018
F – No	GMAW 6 & SMAW 4
A – No	GMAW 1 & SMAW 1
Diámetro del metal de aporte	GMAW 0.045” & SMAW 1/8”

Fuente: TESTING S. A.

- Posiciones: el Código ASME sección IX especifica en las figuras QW-461.3, la posición en que se calificará el procedimiento, la posición de los metales a unir como la dirección y sentido en que se efectuara la soldadura. En el anexo D se encuentran las diferentes tipos de posiciones de soldadura y su clasificación.

La posición de soldadura no es una variable esencial, esto quiere decir que solo informa para que posición se calificara el WPS, sin embargo, el procedimiento de soldadura no restringe que se puedan utilizar otras posiciones de soldadura.

Tabla V. **Especificación de la posición de soldadura**

Posición de la soldadura	
Posición del bisel	1G, 2G, 3G, 4G
Avance de la soldadura vertical	Ascendente

Fuente: Archivo TESTING S. A.

- Precalentamiento y tratamiento entre pases: el propósito del precalentamiento es minimizar el agrietamiento de las soldaduras en los materiales ferrosos al soldar sobre cualquier material base después de cierto espesor o por la composición que esta tenga. También se utiliza el precalentamiento para evitar deformaciones y evitar que se generen tensiones internas al soldar.

El Código ASME sección IX especifica en el apartado QW-406, la temperatura en función del tipo del material a utilizar, en el WPS debe especificarse, la temperatura mínima de precalentamiento, y la máxima temperatura entre pases.

Tabla VI. **Especificación de precalentamiento de metal base**

Precalentamiento de metal base	
Mínima temperatura de precalentamiento.	149 °F
Máxima temperatura entre pases.	230 °F
Mantenimiento de calor	Continuo

Fuente: TESTING S. A.

- Tratamiento térmico post-soldadura: el Código ASME sección IX especifica en el apartado QW-406, la temperatura en función del tipo del material a utilizar, el tiempo que se debe mantener la temperatura está en función del espesor del material, se debe especificar en el WPS.

En el caso de nuestro procedimiento de soldadura el tratamiento térmico post-soldadura no aplica.

Tabla VII. **Especificaciones de tratamiento térmico post-soldadura**

Tratamiento térmico post-soldadura	
Rango de temperatura	N.A
Rango de tiempo	N.A

Fuente: TESTING S. A.

- Gases: se debe indicar para que se usara el gas, si es mezcla la composición de la misma y el rango de flujo en la que se debe utilizar.

Para el proceso de soldadura GMAW se utilizara dióxido de carbono (CO₂) como gas protector el rango de flujo será de 30 a 50 pies cúbicos por hora.

Tabla VIII. **Porcentaje de composición de gases**

Porcentaje de composición de gases			
	Gas	Mezcla	Rata de flujo
Protección	CO ₂	100%	30-50 CFH
Avance	N.A	N.A	N.A
Respaldo	N.A	N.A	N.A

Fuente: TESTING S. A.

- Técnica: se debe de indicar el tipo de limpieza inicial y entre pases, tipo de depósitos, tamaño de orificios de salida de gas, tipo de oscilación, método de protección de la raíz, pases por lado, electrodo múltiple o sencillo, rango de velocidades de avance e insertos consumibles. Esta información se encuentra en el Código ASME sección IX apartado QW-410.

En la tabla IX se presentan las técnicas a utilizar en la fabricación de tubería de vapor de escape.

Tabla IX. **Descripción de la técnica de soldadura**

Técnica
Con oscilación o sin oscilación: con oscilación
Tamaño del orificio de la boquilla del gas: N. A
Limpieza inicial y entre pases: Esmerilado y Cepillado
Método de pulido posterior: Pulido o Arco Aire
Oscilación: 3/16"
Distancia de la maquina hasta el punto de trabajo: hasta 20 m
Múltiple o simple pase (por lado) Lado externo Múltiple y Lado Interno Simple
Rango de velocidad de avance: 1 : 5 ppm
Martillado: prohibido
Otros: N.A

Fuente: TESTING S. A.

- Características eléctricas: las características eléctricas se refieren a la conductividad de los metales y a la polaridad de corriente, en esta sección se debe especificar tipo de corriente a utilizar, el rango de amperajes, voltaje y polaridad.

En la tabla X se presentan las características eléctricas que utilizaron en la aplicación de soldadura en la fabricación de tubería de vapor de escape.

Tabla X. **Descripción de características eléctricas**

Características eléctricas		
Corriente AC o DC:	DC	Polaridad: electrodo positivo (+)
Amps (rango) GMAW 80 : 175 & SMAW 90 : 140	Volts: GMAW 18 : 22 & SMAW 22 : 25	

Fuente: TESTING S. A.

Las especificaciones de procedimiento de soldadura que se han colocado a lo largo de este trabajo de graduación son específicamente para la fabricación, armado y aplicaciones de soldadura de la tubería de vapor de escape, en el anexo E se encuentra el WPS completo elaborado para este proyecto.

4.1.4.3. Calificación del procedimiento de soldadura (PQR)

La calificación del procedimiento de soldadura (*Procedure Qualification Record*) se realiza con base en las especificaciones de procedimiento de soldadura (WPS) y se detallan los rangos de calificación se anexan los ensayos mecánicos realizados a la muestra, la calificación del procedimiento de soldadura debe detallar el nombre del soldador, número de identificación, el nombre del inspector que realizo la prueba, la fecha y el código bajo el cual se

calificó el procedimiento. En el anexo F se encuentra la calificación del procedimiento de soldadura utilizado en la fabricación, armado y aplicaciones de soldadura.

Este documento es en el que se recaban los datos reales utilizados durante la calificación y es el que respalda cualquier cambio que haya que realizar en el WPS si las variables plasmadas en el (PQR) se salen del rango establecido en el WPS.

Los ensayos mecánicos se llevan a cabo para verificar si con las variables utilizadas durante el proceso, la soldadura cumple con los requerimientos mínimos requeridos por ASME IX.

A continuación se describen los ensayos mecánicos que se realizaron para la calificación del procedimiento de soldadura de la tubería de vapor de escape, a la vez se presenta los datos obtenidos en cada uno de los ensayos.

- Prueba de tensión: se requiere para probar la resistencia a la tensión de una chapa de acero soldada y calcular la carga máxima que puede soportar. Con lo que se verifica si esta carga máxima cumple con lo aceptado por ASME IX para el material base analizado. Además se verifica si la falla se da en el material o en la soldadura.

En la tabla XI se muestran los valores obtenidos en la prueba de tensión.

Tabla XI. **Resultados de prueba de tensión**

Prueba No.	Ancho (pulgada)	Área (pulgadas cuadradas)	Carga ultima (lb)	Esfuerzo ultimo (psi)	Tipo de falla y localización
T ₁ Raíz	0,5968	0,2273	18,539	81,503	Material base
T ₂ Raíz	0,5700	0,2258	18,517	82,009	Material base
T ₁ Cara	0,8858	0,3445	27,148	78,788	Material base
T ₂ Cara	0,8996	0,3599	28,012	77,845	Material base

Fuente: TESTING S. A.

- Prueba de doblado: el ensayo de doblado se realiza con una máquina de doblado guiado, este ensayo se usa para comprobar la tenacidad y sanidad de la soldadura.

Figura 29. **Ensayo de doblado**



Fuente: TESTING S. A.

En la tabla XII, se encuentran los resultados del ensayo de dobles.

Tabla XII. **Resultados de prueba de dobléz**

Tipo y figura No.	Resultados
Doblez de cara	OK
Doblez de cara	OK
Doblez de Raíz	OK
Doblez de Raíz	OK

Fuente: TESTING S. A.

4.1.4.4. Calificación del desempeño del soldador (WPQ)

Para realizar la calificación de desempeño del soldador, previamente se tuvo que haber calificado el procedimiento de soldadura (WPS) y haber aprobado la calificación del procedimiento de soldadura (PQR).

La prueba de desempeño del soldador consiste en una prueba de habilidades para soldar y dependiendo de las necesidades del proyecto, esta prueba se realiza en diferentes posiciones.

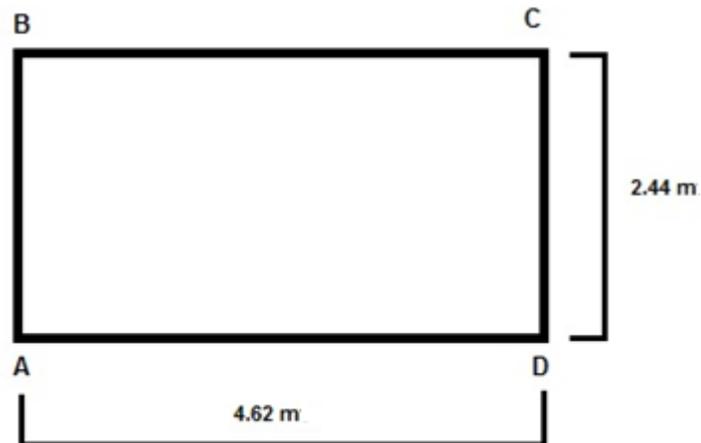
Existen variables esenciales y no esenciales para la calificación del soldador los cuales se encuentran en el Código ASME sección IX apartado QW-300. Las prueba que se le realiza al soldador debe estar dirigida por un inspector de soldadura calificado, toda prueba sometida a ensayos destructivos o no destructivos deberá haber pasado previamente la prueba de inspección visual, de acuerdo a los requerimientos de la norma. Media vez se haya puesto a prueba al soldador y la probeta soldada se haya examinado, ya sea por ensayos mecánicos o radiográficos, y si los resultados son satisfactorios se deberá de llenar el formato de calificación del soldador indicando principalmente:

- Nombre completos del soldador
- Número de DPI
- Rango de diámetro que cubre la calificación
- Rango de espesores
- Posición calificada
- Proceso
- Metal base (número P)
- Metal de aporte (número F)
- Espesor del metal depositado
- Progresión de soldadura
- WPS Y PQR sobre el cual se realizó la calificación
- Tipos de ensayos que se realizó a la probeta
- Fecha de calificación
- Inspector que realizo la prueba

4.1.4.5. Verificación dimensional y bisel de lámina

La verificación dimensional consiste en medir los cuatro puntos de la lámina A-B, B-C, C-D, A-D, esto para corroborar que la lámina tenga las medidas correctas en los cuatro puntos y de esta forma garantizar que cuando la lámina sea rolada se obtendrá el diámetro correcto, si la lámina no tuviera las dimensiones adecuadas en alguno de los puntos anteriormente mencionados, se procederá a escuadrar la lámina para rectificar las dimensiones, esto para que al momento de que la lámina pase al proceso de rolado no se tenga ninguna variación en el diámetro requerido, las medidas estándar que se utilizaron en la fabricación de tubería de vapor de escape se muestran en la figura 30.

Figura 30. **Medidas de lámina para fabricación de tubería**



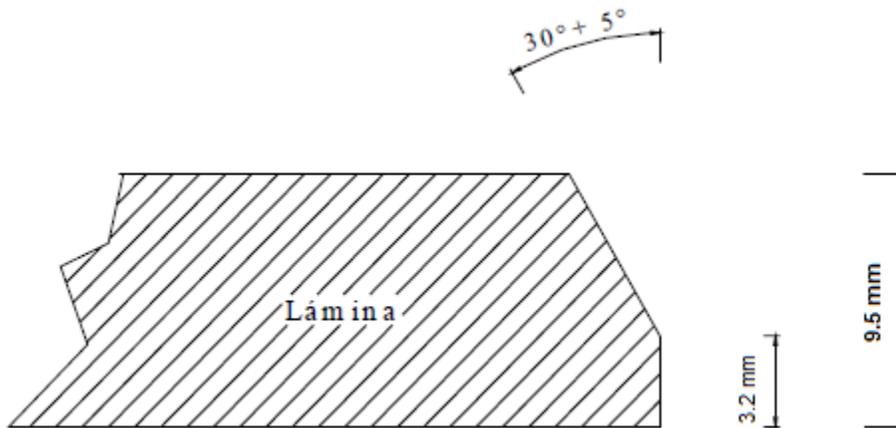
Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

Para la verificación del bisel, se recurre al procedimiento de soldadura WPS específicamente a la sección de diseño de juntas, esta sección indica que se utilizara una junta a tope con preparación de borde en V sin placa de respaldo.

La norma AWWA C-200 en el párrafo 4.13.4 *Beveled ends for field butt welding*, especifica que cuando se deba tener los extremos de la lámina biselado para soldadura a tope, estos deberán presentar un ángulo de 30 grados con una tolerancia de + 5, - 0 grados.

Dadas las especificaciones anteriormente mencionadas se presenta el bosquejo del bisel de lámina que se utilizara en la tubería de vapor de escape.

Figura 31. **Especificaciones de bisel de lámina**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

Para verificar que los extremos de las láminas tengan el ángulo de bisel correcto se utilizó una galga.

Figura 32. **Verificación de bisel de lámina**



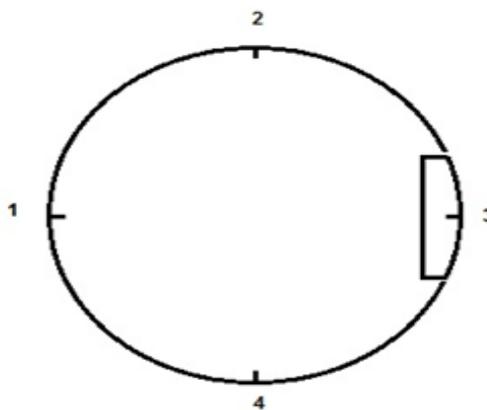
Fuente: TESTING S. A.

4.1.4.6. Verificación de conformación del rol

Mediante la verificación de conformación del rol se determina si el cilindro que está siendo rolado posee el diámetro adecuado, dicha verificación se hace por medio de una plantilla la cual posee el mismo perímetro o arco que el del cilindro que está siendo rolado, la plantilla se coloca sobre la base del cilindro y dado que ambos poseen la misma curva o arco no se tiene que presentar luz alguna entre la base del cilindro y la plantilla, para garantizar que el cilindro tenga el diámetro adecuado la plantilla se debe colocar en cuatro puntos del cilindro.

La desviación de la curvatura próxima a la unión longitudinal soldada no debe exceder de 1,6 milímetros (1/16"). Los cilindros deben ser lo suficientemente redondos en estas zonas, con objeto de que la junta circunferencial no tenga un desajuste mayor de 12,5 por ciento del espesor o (3/32") 2,4 milímetros, lo que resulte menor.

Figura 33. Puntos de verificación de conformación de rol



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

En el caso para la verificación de conformación del rol, se utilizó una plantilla de 36 de longitud con la cual tiene una curvatura al perímetro interno de diseño del tubo.

Figura 34. **Verificación de conformación de rol**



Fuente: TESTING S. A.

Luego de la verificación del arco del cilindro, se realiza inspección visual sobre el cilindro que ha sido rolado, para verificar que durante el proceso no se haya producido algún golpe o deformación sobre el metal base que puedan ser motivo de rechazo.

4.1.4.7. Verificación de juntas circunferenciales y longitudinales

La verificación de juntas, circunferenciales y longitudinales se divide en varias etapas, pero a continuación se describen 3 etapas que ayudarán a comprender mejor sobre el tema.

- Verificación de abertura de raíz: la verificación de abertura de raíz consiste en medir el ancho entre los extremos del material base de las juntas longitudinales y circunferenciales, esto para garantizar que al momento que se aplique soldadura esta penetre completamente. La medición de la abertura de raíz se debe realizar utilizando una galgas multipropósitos.

La Norma AWWA C-200 en la sección 4.13.4 *Beveled ends for field butt welding* proporciona las tolerancias permitidas para juntas a tope, el ancho de nuestra junta debe ser de 1/8 de pulgada con un tolerancia de $\pm 1/32$ pulgadas (3,2 mm \pm 0,8 mm).

Figura 35. Medición de abertura de raíz



Fuente: archivo TESTING S. A.

- Verificación de desalineamiento radial (*High Low*): la verificación del desalineamiento radial (*High Low*) consiste en medir por medio de una galga multipropósitos o una escuadra el desalineamiento que se produce en las juntas circunferenciales, durante el armado de las secciones de tubería.

La Norma AWWA C-200 en la sección 4.10.1 *Weld seams* proporciona las tolerancias permitidas para la medición del desalineamiento radial. Para tubos con espesores de lámina (t) de 3/8 de pulgadas o menos, el desalineamiento radial máximo no podrá ser superior a 0,1875 veces (t) o 1/16 de pulgadas (1,6 mm), para valores de (t) superiores a 3/8 de pulgadas (9,5 mm) el desalineamiento radial máximo no excederá de 0,1875 veces (t) o 3/8”.

Para nuestro caso dado que el espesor de lámina que se está utilizando es de 3/8 de pulgada, la tolerancia permitida en el desalinamiento radial será de 1/16 de pulgada.

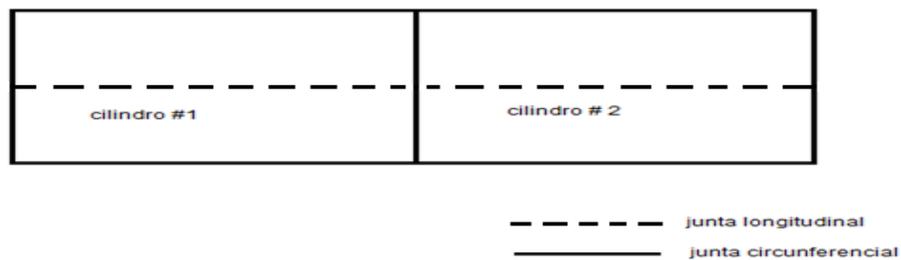
Figura 36. **Verificación de desalineamiento radial**



Fuente: TESTING S. A.

- Verificación de traslape de juntas: la verificación del traslape de juntas consiste en asegurar que al momento en el cual la tubería este siendo armado, las juntas longitudinales de los cilindros que conforman la tubería no queden alineadas entre sí o estas no tenga la suficiente distancia de separación entre cada una.

Figura 37. **Mal traslape de juntas**

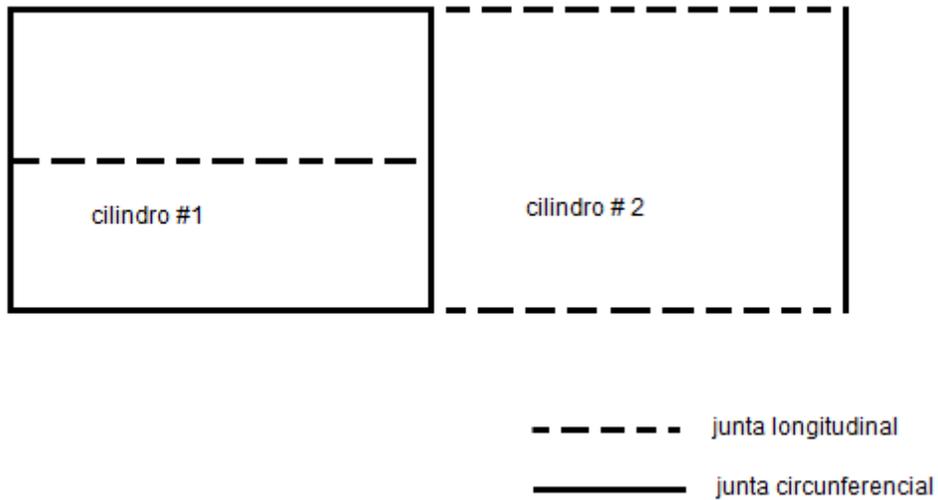


Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

Para un correcto armado las juntas longitudinales se tienen que rotar en base al diseño de fabricación de la tubería. En el caso de la fabricación de tubería de vapor de escape las juntas longitudinales se tienen que rotar 90 grados entre sí a modo de que estas no queden alineadas.

En la siguiente figura se muestra la forma del traslape de juntas según el diseño de fabricación de tubería de vapor de escape.

Figura 38. **Traslape de juntas según diseño**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

4.1.4.8. Verificación geométrica en tubería de vapor de escape

La verificación geométrica en la tubería de vapor de escape se realiza durante dos etapas de fabricación, la primera verificación se realiza luego del armado de la tubería para verificar que los diámetros como la rectitud de la tubería se encuentre dentro de las tolerancias permitidas, la segunda verificación se realiza luego de la aplicación de soldadura para verificar que los diámetros como la rectitud de la tubería no hayan sido afectados por el calor generado durante la aplicación de la soldadura.

- Verificación geométrica de redondez: la verificación geométrica de redondez consiste en la medición del diámetro de la circunferencia exterior de la tubería, la Norma AWWA C-200 sección 4.12.2

Circumference indica que la circunferencia exterior de la tubería no debe variar más de $\pm 1,0$ por ciento, pero no excederse de $\pm \frac{3}{4}$ de pulgada (± 19 mm) de la circunferencia exterior nominal basado en el diámetro especificado.

La verificación geométrica se realiza mediante el uso de un metro, para nuestro caso el diámetro según diseño es de 58" esto quiere decir que la tolerancia permitida es ($1\,473\text{ mm} \pm 19\text{ mm}$), la medición se realiza en 2 puntos de la circunferencia a 0 y 90 grados.

Figura 39. **Verificación geométrica de redondez**



Fuente: PSMI, S. A.

Luego de que se haya verificado la redondez de los extremos de la tubería, se procederá a medir el perímetro de cada extremo de la tubería.

- Verificación de rectitud de la tubería: la tubería de vapor de escape, está conformada por la unión de 5 cilindros por tubo, cada cilindro posee una longitud de 8' (2,43 m) de largo, los cuales hace que un tubo posea una longitud de 40' (12,19 m), para poder verificar que la tubería de vapor de escape tenga la rectitud adecuada la Norma AWWA C-200 párrafo 4.12.3

Straightness indica que la tubería no deberá diferir en más de 1/8" (3,2 mm) por cada 10' (3 m) de longitud.

Esto quiere decir que nuestra tolerancia de aceptación en la verificación de rectitud será de 1/2 pulgada (12,7 mm), para la verificación de rectitud de la tubería, se debe colocar un hilo en los borde de los extremos de la tubería y se debe medir la mayor separación entre el hilo y la base de la tubería, el hilo se debe colocar por lo menos en 3 puntos de la tubería para garantizar la rectitud de esta.

Figura 40. **Verificación de rectitud**



Fuente: TESTING S. A.

4.1.4.9. Verificación de procesos de soldadura

La verificación de soldadura, es el proceso mediante el cual por medio de la inspección visual se comprueba el estado de los trabajos de soldadura realizados durante la fabricación.

Para la aplicación de soldadura en la tubería de vapor de escape se creó un procedimiento de soldadura combinado SMAW – GMAW, esto quiere decir

que por la parte exterior de la tubería se utilizara el proceso GMAW el cual consta de 3 pases de soldadura (penetración, relleno, presentación), para la parte interna de la tubería se utilizara el proceso SMAW el cual consta de un pase de soldadura (presentación).

La verificación del proceso de soldadura se realiza en tres etapas las cuales son:

- Antes del proceso de soldadura: antes del inicio de cualquier soldadura, se debe aprobar la preparación de las uniones, en lo referente a:
 - La correcta alineación de las partes a unir y a su posicionamiento adecuado con respecto de la estructura.
 - La abertura de raíz.
 - Ángulo y preparación de los biseles.
 - La limpieza de la unión.

- Durante el proceso de soldadura: durante la operación de soldeo se debe verificar contra el WPS calificado lo siguiente:
 - Proceso de soldadura (SMAW, GMAW)
 - La identificación y tamaño de los electrodos y alambres para aporte
 - El precalentamiento de la unión
 - La posición para soldar
 - El tipo de gas, flujo, tipo de tobera, otros.
 - Tipo de corriente, polaridad, amperaje, voltaje en cada paso de soldadura
 - La temperatura entre pases.

- Velocidad del alambre
 - Limpieza entre pases
 - El que no existan defectos en cada pase de soldadura aplicado
 - La limpieza final de la unión
- Después del proceso de soldadura: las soldaduras terminadas, serán examinadas visualmente para comprobar que posean el tamaño específico y que las discontinuidades encontradas (porosidad, falta de fusión, grietas, otros.) no excedan los límites de aceptabilidad de la Norma ASME B31.3.

La Norma ASME B31.3 sección 341.3.2 nos da los criterios de aceptación de soldadura.

Tabla XIII. **Criterios de aceptación de soldadura**

Criterios para soldadura según ASME B31.3		
Tipos de soldadura		
Soldadura circunferenciales	Soldaduras longitudinales	Imperfecciones de soldaduras
A	A	Grieta
A	A	Falta de fusión
B	A	Penetración incompleta
E	E	Porosidad interna
G	G	Inclusiones internas de escoria
H	A	Corte bajo
A	A	Superficie poros o inclusiones de escoria expuesta
N/A	N/A	Acabado superficial
K	K	Superficie de raíz cóncava
L	L	Refuerzo de soldadura o protuberancia interna

Fuente: ASME B31.3. *Códigos para tubería a presión*. p. 77.

Tabla XIV. Criterios de soldadura

Notas para los criterios de soldadura			
Símbolo	Medida	Valores de los límites aceptables	
A	Extensión de la imperfección	Cero (imperfecciones no evidentes)	
B	Profundidad de penetración incompleta	$\leq 1\text{mm (1/32")}$ y $\leq 0.2 T_w$	
	Longitud acumulada de penetración incompleta	38 mm (1.5") en cualquier soldadura de 150 mm (6")	
C	Profundidad con falta de fusión y penetración Incompleta	$\leq 0.2 T_w$	
	Longitud acumulada de falta de fusión y penetración incompleta	38 mm (1.5") en cualquier soldadura de 150 mm (6")	
E	Tamaño y distribución de la porosidad	Para $T_w \leq 6\text{mm (1/4")}$, el límite es el mismo D Para $T_w \geq 6\text{mm (1/4")}$, el límite es $1.5 \times D$	
G	Inclusiones de escoria		
	Longitud individual	$\leq 0.2 T_w$	
	Ancho individual	$\leq 3\text{mm (1/8")}$ y $T_w/2$	
	Longitud acumulativa	4 T_w en cualquier soldadura de 150 mm (6") de longitud	
H	Profundidad de la mordedura	$\leq 1\text{mm (1/32")}$ y $\leq T_w/4$	
K	Profundidad de la raíz cóncava	Espesor total de la junta $\geq T_w$	
L	Altura de refuerzo o protuberancia	Para T_w mm (pulg)	Altura mm (pulg)
		$\leq 6 (1/4)$	$\leq 1.5 (1/16)$
		$>6 (1/4 \leq 13 (1/4))$	$\leq 3 (1/8)$
		$> 13 (1/2, \leq 25 (1))$	$\leq 4 (3 / 32)$
		$> 25(1)$	$\leq 5 (3/32)$

Fuente: ASME B31.3. Códigos para tubería a presión. p. 78.

4.1.4.10. Muestreo por END volumétrico

El muestreo por ensayos no destructivos volumétricos consiste en la verificación de las juntas soldadas por medio de ultrasonido industrial, para asegurar la calidad de estas. Debido al elevado costo que conlleva el análisis de soldadura por medio de ultrasonido industrial se procederá a tomar una muestra del 10 por ciento de la longitud total de pies de soldadura. La tubería de vapor de escape consta de 101 pies (31 m) de longitud de soldadura, esto quiere decir que se analizara 10,1 pies (3,1 m) del total de la longitud de soldadura.

La Norma ASME B31.3, especifica en la sección 344.6.2 los criterios de aceptación en el muestreo por ultrasonido. Una discontinuidad tipo lineal es inaceptable si el intervalo de las indicaciones excede el nivel de referencia y su longitud excede:

- 6 mm (1/4") para $T_w \leq 19$ mm (3/4")
- $T_w/3$ para 19 mm $< T_w \leq 57$ mm (2 1/2")
- 19 mm para $T_w > 57$ mm

Dado que el espesor de la lámina utilizado en la tubería de vapor de escape es de 3/8" (9,5 mm) las discontinuidades encontradas en el ensayo de ultrasonido industrial no podrán ser mayores a 6 milímetros (1/4").

Figura 41. **Muestreo por END volumétricos**



Fuente: TESTING S. A.

5. CONTROL ESTADÍSTICO DE LA CALIDAD

5.1. ¿Qué es el control estadístico de la calidad?

El control estadístico de la calidad es una herramienta que permite de una forma adecuada y consistente analizar procesos con el fin de estudiar su comportamiento y poder evaluarlo, de tal forma que si se hallan procesos fuera de control se puedan hallar la variables que ejercen ese comportamiento. Con la finalidad que se puedan generar mecanismos que conminen a restablecer el control del proceso de tal forma que se puedan cumplir con las especificaciones planteadas dentro del mismo.¹⁰

5.2. Objetivo del control estadístico de la calidad en un proceso

El objetivo del control estadístico de la calidad en un proceso es detectar rápidamente la presencia de causas asignables para emprender acciones correctoras que eviten la fabricación de productos defectuosos.

5.3. Conceptos básicos de control estadístico de la calidad en un proceso

A continuación se describen los conceptos básicos de control estadístico de la calidad en un proceso, además se describen sus definiciones.

¹⁰ ACUÑA, Jorga. *Control de calidad*. p.11

5.3.1. Muestreo de aceptación

El muestreo de aceptación es una técnica estadística que permite calificar la calidad de un lote, con base en los análisis efectuados sobre una o más características de la calidad estudiadas en una o más muestras extraídas de él.

Esta técnica es aplicable principalmente en la recepción de materias primas y materiales y en la inspección de productos terminados ya sea fuera o dentro de la fábrica que produce o provee. También es posible utilizarla en inspección en proceso, cuando un departamento entrega a otros lotes de productos semielaborados.

Cuando se decide aplicar muestreo de aceptación se persiguen dos objetivos fundamentales.

- Asegurar la calidad del lote enviado procurando que este cumpla con lo requerido por el cliente.
- Asegurar la calidad del lote recibido y aceptar solo aquel que cumpla con los requerimientos.

En el logro de estos objetivos uno de los aspectos más relevante es la confiabilidad que tenga el muestreo. El tamaño de la muestra y la aleatoriedad en su selección constituyen las fuentes de error que deben estudiarse a fondo.

Para que el muestreo de aceptación sea representativo, debe tenerse especial cuidado en la forma que se agrupan los lotes, los cuales deben estar formados por unidades que hayan sido fabricadas bajo las mismas condiciones, es decir, con los mismos materiales, métodos, máquinas, operarios y condiciones ambientales.

Si no fuese así, se estaría estratificando el muestreo con los correspondientes problemas que esto acarrea pues los datos provendrían de diferentes poblaciones.

El muestreo de aceptación se divide en muestreo por atributos y por variables, el método que se utilice depende de las características para evaluar el producto sometido a inspección.

- Muestreo por variables: en este tipo de muestreo, se toma una muestra aleatoria del lote y a cada unidad de la muestra se le mide una característica de calidad de tipo continuo (longitud, peso, diámetro, otros). Con las mediciones se calcula un estadístico, que generalmente está en función de la media y la desviación estándar muestral, y dependiendo del valor del estadístico al compararlos con un valor permisible, se acepta o rechaza todo el lote.
- Muestreo por atributos: en estos se extrae aleatoriamente una muestra de un lote y cada pieza de la muestra es clasificada de acuerdo con ciertos atributos como aceptable o defectuosa. Si el número de piezas defectuosas es menor o igual que un cierto número predefinido, entonces el lote es aceptado, en caso de que el lote sea mayor será rechazado.

En general, el muestreo más usual es el de atributos, a pesar de que los planes por variables requieren un menor tamaño de la muestra para lograr el mismo nivel de seguridad. Esta aparente contradicción puede deberse a la tradición o a que en los muestreos por atributos se pueden combinar varias características de calidad en un solo plano, mientras que en los muestreos por variables hay que diseñar un plan para cada característica de calidad.

Además, en ocasiones las mediciones en los planes por variables son más costosas. De esta manera debe procurarse que la decisión sobre el tipo de muestreo se fundamente en un análisis detallado de los costos que implica cada plan así como la facilidad de llevarlos a cabo, no fundamentar la decisión en la inercia y la tradición.

5.3.2. Gráficos de control estadístico

Los gráficos de control tienen su origen al final de la década de 1920, cuando Walter A. Shewhart analizó numerosos procesos de fabricación concluyendo que todos presentaban variaciones. Encontró que estas variaciones podían ser de dos clases: una aleatoria, entendiendo por ella que su causa era insignificante o desconocida, y otra imputable (también llamada asignable), cuyas causas podían ser descubiertas y eliminadas tras un correcto diagnóstico.

Los gráficos de control constituyen una herramienta estadística utilizada para evaluar la estabilidad de un proceso. Permite distinguir entre las causas de variación. Todo proceso tendrá variaciones, pudiendo estas agruparse en:

- Causas aleatorias de variación. Son causas desconocidas y con poca significación, debidas al azar y presentes en todo proceso.
- Causas específicas (imputables o asignables). Normalmente no deben estar presentes en el proceso. Provocan variaciones significativas.

Las causas aleatorias son de difícil identificación y eliminación. Las causas específicas sí pueden ser descubiertas y eliminadas, para alcanzar el objetivo de estabilizar el proceso.

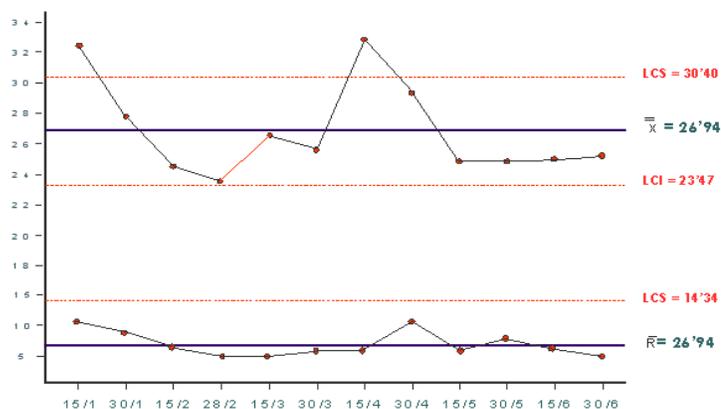
Existen diferentes tipos de gráficos de control:

- De muestreo por variables. Que a su vez pueden ser de media y rango, mediana y rango, y valores medidos individuales.
- De muestreo por atributos. Del estilo aceptable, inaceptable, sí/no.

En la base de los gráficos de control está la idea de que la variación de una característica de calidad puede cuantificarse obteniendo muestras de las salidas de un proceso y estimando los parámetros de su distribución estadística. La representación de esos parámetros en un gráfico, en función del tiempo, permitirá la comprobación de los cambios en la distribución.

El gráfico cuenta con una línea central y con dos límites de control, uno superior (LCS) y otro inferior (LCI), que establecen desviaciones típicas (sigma) de la media (la línea central). El espacio entre ambos límites define la variación aleatoria del proceso. Los puntos que exceden estos límites indicarían la posible presencia de causas específicas de variación.

Figura 42. Ejemplo de gráfica de control



Fuente: GUTIÉRREZ, Humberto. *Calidad total y productividad*. p 195.

5.3.2.1. Gráficos de control por variables

En los gráficos de control por variables, el control del proceso se realiza mediante variables susceptibles de ser medidas: cantidad, peso, diámetro, frecuencia, otros. En ellos se analizarán parámetros de promedio μ y desviación estándar σ de la característica a controlar a largo tiempo.

Los gráficos de control por variables en general nos permitirán mediante muestras de pequeño tamaño (4, 5 o 6 piezas) tomadas, prever dentro de que límites un proceso está dentro de control. Es decir, se trata de controlar el proceso vigilando las variables más significativas de los productos fabricados; para ello se usan técnicas estadísticas aceptando que los errores siguen una distribución normal.

- Gráfica de control \bar{X} - R: este gráfico utiliza como medida de control de exactitud el promedio y como medida de control de precisión el intervalo. Estas medidas se calculan con base a m-muestras de tamaño n, extraídas del proceso en estudio a intervalos de tiempo o cantidad de producción que son definidos previamente.

Es requisito clave para usar este tipo de grafica seleccionar muestras pequeñas, pues el intervalo solo es un buen estimador de dispersión en este caso.

- Construcción del gráfico
 - Selección de la variable: elegir una característica x que se utilizará durante el proceso.

- Definición del marco de muestra y método de selección: es necesario definir el lugar de donde se extraerán las muestras, sea este lote producido o maquinas en proceso.
 - Determinación del número de subgrupos o muestras (m): la determinación de este número se debe hacer de tal manera que la probabilidad de detectar causas asignables entre las unidades que conforman la muestra sea la mínima posible, pero la máxima entre muestras o subgrupos.
 - Determinación del tamaño de subgrupo o muestra (n): es muy importante que la selección de esta muestra sea aleatoria y que la frecuencia de toma de ella se haga sobre la base de los beneficios esperados y el costo de evaluación de calidad generado.
 - Recolección de información: una vez diseñado el esquema de muestreo se procederá a la recolección de datos, ejecuciones de medición y cálculo de medidas estadísticas.
- Cálculos efectuados
 - Promedio de la muestra

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Donde:

n : tamaño de la muestra

Xi: dato individual

- Intervalo de la muestra

$$R = X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}}$$

Donde:

$X_{\text{máx}}$: dato de mayor magnitud en la muestra

$X_{\text{mín}}$: dato de menor magnitud en la muestra

- Promedio de promedios

$$\overline{\overline{X}} = \frac{\overline{X}_1 + \overline{X}_2 + \overline{X}_3 + \dots + \overline{X}_m}{m} = \frac{\sum_{i=1}^m \overline{X}_i}{m}$$

Donde:

m: número de muestras

\overline{X} : promedio de muestra i

- Intervalo de promedio

$$\overline{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_m}{m} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m}$$

Donde:

m: número de muestras

\overline{R} : Intervalo de muestras i

- Cálculo de límite de control: existen dos tipos de límites de control: los límites de control de proceso que sirve para analizar la situación del proceso con respecto a sus capacidades naturales, o sea aquellas sin la intervención de causas asignables y los límites de control especificados que son aquellos basados en las especificaciones y que sirven para analizar si el proceso cumple con ella.

Todos los límites deben tener una cifra significativa más que lo exigido por la especificación y el criterio de redondeo es redondear límites superiores hacia arriba a la cifra siguiente y límites inferiores hacia abajo a la cifra precedente.

Las fórmulas para el cálculo de ambos límites son las siguientes:

- Límites de control específicos

Para promedios

$$LSE_x = M + \frac{T}{\sqrt{n}}$$

$$LCE_x = M$$

$$LIE_x = M - \frac{T}{\sqrt{n}}$$

Para intervalos

$$LSE_r = D_2 * \frac{T}{3}$$

$$LCE_r = d_2 * \frac{T}{3}$$

$$LIE_r = D_1 * \frac{T}{3}$$

Donde:

LSE: Límite Superior Especificado

LCE: Línea Central Especificada

LIE: Límite Inferior Especificado

- Límites de control de procesos

Para promedios	Para intervalos
$LSC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_2 * \bar{R}$	$LSCr = D_4 * \bar{R}$
$LCC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}}$	$LCEr = \bar{R}$
$LSC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_2 * \bar{R}$	$LICr = D_3 * \bar{R}$

Donde:

LSC: Límite Superior de control

LCC: Línea Central de control

LIC: Límite Inferior de control

Los valores de las constantes A_2 , D_1 , D_3 , D_4 y d_2 , las cuales dependen del tamaño de la muestra, se encuentran en el anexo G.

5.4. Aplicación de control estadístico en procesos de fabricación, armado y aplicaciones de soldadura en tubería de vapor de escape

Se aplicará control estadístico a los procesos más críticos que conllevan la fabricación, armado y aplicaciones de soldadura, esto para determinar si los procesos anteriormente mencionados se encuentran bajo control estadístico, de esta manera se determinara el estado de la calidad en los diferentes procesos.

5.4.1. Control estadístico en verificación dimensional de lámina

Se estudiará como variable la longitud de las láminas, dado que de está depende que al momento que pase la lámina al proceso de rolado el diámetro sea óptimo. Por día se medirá la longitud de seis láminas, durante un período de veinte días, esta medición se hará luego que la lámina haya sido escuadrada.

Los datos obtenidos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla XV. Datos obtenidos en verificación dimensional de lámina

VERIFICACION DIMENSIONAL DE LAMINA								
No de muestras	lectura 1 x_1 (m)	lectura 2 x_2 (m)	lectura 3 x_3 (m)	lectura 4 x_4 (m)	lectura 5 x_5 (m)	lectura 6 x_6 (m)	Media \bar{x} (m)	Rango R (m)
1	4,65	4,65	4,62	4,64	4,62	4,65	4,638	0,03
2	4,63	4,62	4,63	4,62	4,62	4,64	4,627	0,02
3	4,63	4,63	4,63	4,63	4,64	4,64	4,633	0,01
4	4,63	4,63	4,64	4,63	4,62	4,64	4,632	0,02
5	4,62	4,63	4,63	4,62	4,65	4,62	4,628	0,03
6	4,65	4,65	4,64	4,65	4,65	4,64	4,647	0,01
7	4,62	4,63	4,63	4,64	4,64	4,62	4,630	0,02
8	4,64	4,63	4,62	4,62	4,63	4,62	4,627	0,02
9	4,63	4,63	4,63	4,62	4,63	4,63	4,628	0,01
10	4,64	4,65	4,65	4,65	4,63	4,65	4,645	0,02
11	4,63	4,63	4,65	4,65	4,63	4,63	4,637	0,02
12	4,62	4,63	4,62	4,62	4,62	4,64	4,625	0,02
13	4,62	4,65	4,64	4,65	4,62	4,62	4,633	0,03
14	4,63	4,64	4,65	4,64	4,64	4,63	4,638	0,02
15	4,64	4,65	4,64	4,63	4,65	4,64	4,642	0,02
16	4,65	4,64	4,65	4,63	4,64	4,64	4,642	0,01
17	4,64	4,63	4,62	4,62	4,62	4,62	4,625	0,02
18	4,62	4,62	4,62	4,63	4,64	4,62	4,625	0,02
19	4,62	4,64	4,65	4,62	4,64	4,63	4,633	0,03
20	4,63	4,65	4,63	4,63	4,63	4,65	4,637	0,02
							$\bar{X} = 4,634$	$\bar{R} = 0,02$

Fuente: elaboración propia.

- Cálculos

En el estudio de la longitud de lámina se utilizaran límites de control de proceso dado que no se tiene ninguna tolerancia en el proceso.

Límites de control de procesos

Para promedios

Para intervalos

$$LSC = 4,634 + 0,483 * 0,02 = 4,643 \text{ m} \quad LSCr = 2,004 * 0,02 = 0,04 \text{ m}$$

$$LCCx = 4,634 \text{ m} \quad LCEr = 0,02 \text{ m}$$

$$LSCx = 4,634 - 0,483 * 0,02 = 4,624 \text{ m} \quad LICr = 0 * 0,02 = 0 \text{ m}$$

Donde:

LSC: Límite Superior de Control

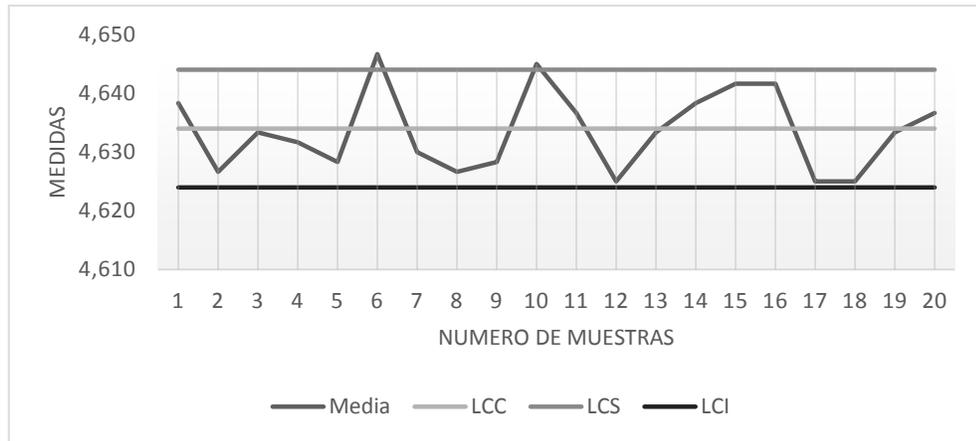
LCC: Línea Central de Control

LIC: Límite Inferior de Control

Los valores de las constantes A_2 , D_1 , D_3 , D_4 y d_2 , las cuales dependen del tamaño de la muestra, se encuentran en el anexo G.

Las gráfica de control de la verificación dimensional se presentan a continuación.

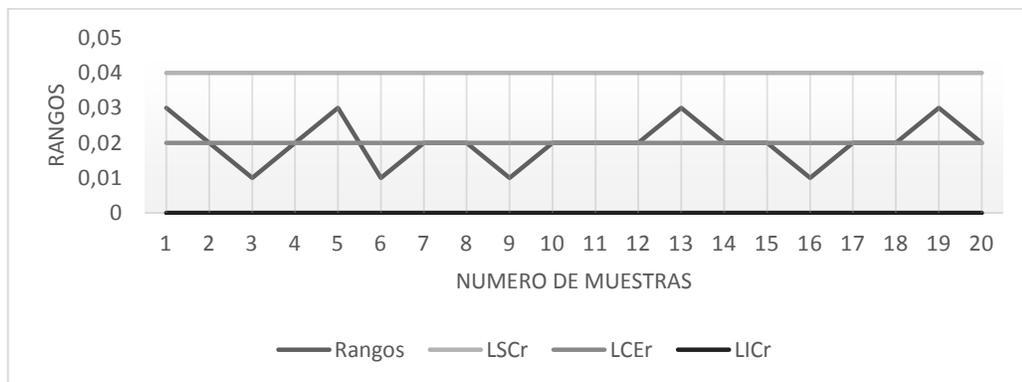
Figura 43. **Gráfica de medias para longitud de láminas**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

Como se puede observar en el gráfico de medias, se refleja que el proceso no está en control estadístico con respecto a la tendencia central, puesto que los puntos correspondientes a la muestra seis y diez se salieron del límite superior de control.

Figura 44. **Gráfica de rangos para longitud de tubería**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

Como se puede observar en la gráfica de rangos, el área de corte de las láminas se encuentra bajo control estadístico en cuanto a variabilidad, ya que no hubo puntos fuera de los límites.

5.4.2. Control estadístico en verificación de bisel de lámina

Se estudiara como variable el ángulo de bisel que se realiza en las láminas durante el proceso de biselado, este control se hará para determinar si los ángulos del bisel se encuentran bajo la tolerancia de la Norma AWWA C-200, el control se desarrollara de la misma manera en que realizo el análisis de la longitud de las láminas, por día se medirá el ángulo de bisel a seis láminas, durante un período de veinte días, esta medición se realizara luego que el ángulo de bisel haya sido preparado.

Tabla XVI. Datos obtenidos en verificación de bisel de lámina

VERIFICACION DE ANGULO DE BISEL								
No de muestras	lectura 1 x_1 (°)	lectura 2 x_2 (°)	lectura 3 x_3 (°)	lectura 4 x_4 (°)	lectura 5 x_5 (°)	lectura 6 x_6 (°)	Media \bar{x}	Rango R
1	31	32	29	31	32	30	30,833	3
2	32	29	33	33	32	30	31,500	4
3	32	31	32	29	31	30	30,833	3
4	32	33	30	30	33	30	31,333	3
5	32	31	30	31	31	30	30,833	2
6	31	30	30	30	30	29	30,000	2
7	30	30	32	33	31	29	30,833	4
8	30	29	30	30	29	29	29,500	1
9	32	31	32	30	33	33	31,833	3
10	31	32	30	32	31	32	31,333	2
11	30	30	30	30	29	31	30,000	2
12	29	29	29	32	31	32	30,333	3
13	33	32	31	33	31	33	32,167	2
14	31	32	30	31	33	32	31,500	2
15	29	31	31	31	32	32	31,000	3
16	30	30	32	30	33	32	31,167	2
17	32	32	30	30	32	32	31,333	2

Continuación de la tabla XVI.

18	30	33	30	29	32	32	31,000	4
19	29	32	33	30	29	29	30,333	4
20	30	29	31	30	30	30	30,000	1
							$\bar{X} = 30,883$	$\bar{R} = 2,6$

Fuente: elaboración propia.

- Cálculos

Para este caso se utilizará límites de control específicos, dado que proceso de biselado tiene tolerancias de aceptación, dicha tolerancia es de ($\pm 5^\circ$).

M = 30° , ángulo de bisel establecido

T = $\pm 5^\circ$, rango de tolerancias

n = 6, número de lecturas

Límites de control específicos

Para promedios

$$LSE_x = 30 + \frac{5}{\sqrt{6}} = 32,041^\circ$$

$$LCE_x = 30^\circ$$

$$LIE_x = 30 - \frac{5}{\sqrt{6}} = 27,960^\circ$$

Para intervalos

$$LSE_r = 5,078 * \frac{5}{3} = 8,5^\circ$$

$$LCE_r = 2,534 * \frac{5}{3} = 4,2^\circ$$

$$LIE_r = 0 * \frac{5}{3} = 0^\circ$$

Donde:

LSE: Límite Superior Especificado

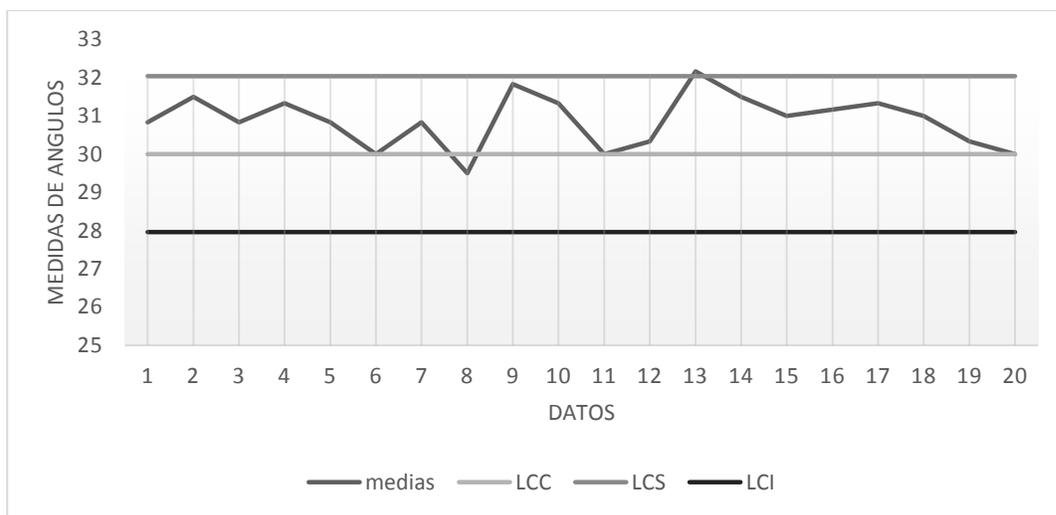
LCE: Línea Central Especificada

LIE: Límite Inferior Especificado

Los valores de las constantes A_2 , D_1 , D_3 , D_4 y d_2 , las cuales dependen del tamaño de la muestra, se encuentran en el anexo G.

Las gráfica de control, en la verificación de ángulo de bisel se presentan a continuación.

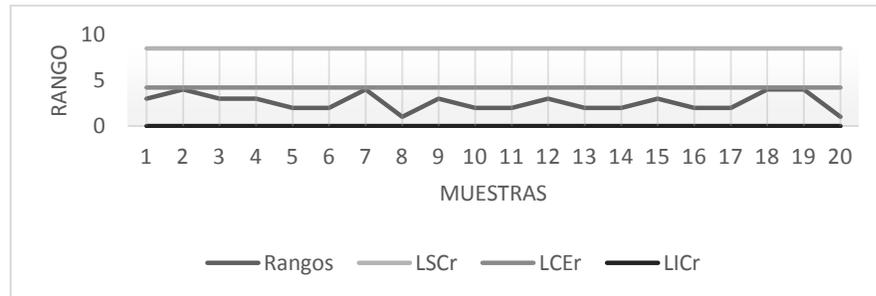
Figura 45. **Gráfica de medias en medición de ángulo de bisel**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

Como se puede observar en el gráfico de medias, se refleja que el proceso no está en control estadístico con respecto a la tendencia central, puesto que el punto correspondiente a la muestra trece está fuera del límite superior de control.

Figura 46. **Control de rangos en medición de ángulo de bisel**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

Como se puede observar en la figura 46, el área de corte de bisel de láminas se encuentra bajo control estadístico en cuanto a variabilidad, ya que no hubo muestras fuera de los límites.

5.4.3. **Control estadístico en verificación geométrica de tubería**

El control estadístico en la verificación geométrica de la tubería se realizó luego de la aplicación de soldadura.

5.4.4. **Control estadístico en verificación geométrica de redondez**

La variable que se controlara en este proceso será el diámetro de los extremos del tubo, este control se realizará para determinar si los diámetros de la tubería fabricada está dentro de las tolerancias que da la norma AWWA C-200. Para realizar este control se analizarán treinta tubos secuencialmente, a cada tubo se le tomarán dos lecturas de la longitud del diámetro una medida horizontal y la otra vertical.

Los datos obtenidos se encuentran en la tabla XVII.

Tabla XVII. **Datos obtenidos en verificación geométrica de redondez**

VERIFICACION GEOMETRICA DE REDONDEZ				
No de tubo	lectura 1 x_1 (mm)	lectura 2 x_2 (mm)	Media \bar{x} (mm)	Rango R (mm)
1	1454,15	1470,02	1462,085	7,935
2	1470,02	1454,15	1462,085	7,935
3	1460,50	1454,15	1457,325	3,175
4	1466,84	1454,15	1460,495	6,345
5	1466,85	1460,50	1463,675	3,175
6	1462,08	1454,15	1458,115	3,965
7	1454,15	1470,02	1462,085	7,935
8	1460,50	1468,37	1464,435	3,935
9	1460,50	1473,20	1466,850	6,350
10	1466,85	1460,50	1463,675	3,175
11	1470,03	1460,50	1465,26	4,760
12	1450,97	1466,85	1458,91	7,940
13	1466,85	1450,97	1458,91	7,940
14	1463,67	1466,85	1465,26	1,590
15	1447,80	1485,90	1466,85	19,05
16	1460,50	1466,85	1463,67	3,175
17	1460,50	1460,50	1460,50	0,000
18	1454,15	1465,26	1459,70	5,555
19	1457,32	1460,50	1458,91	1,590
20	1458,91	1460,50	1459,70	0,795
21	1463,67	1466,85	1465,26	1,590
22	1463,67	1470,02	1466,84	3,177
23	1460,50	1466,85	1463,67	3,175
24	1457,32	1460,50	1458,91	1,590
25	1460,50	1465,26	1462,88	2,380
26	1454,15	1460,50	1457,32	3,175
27	1463,67	1466,85	1465,26	1,590
28	1463,67	1466,85	1465,26	1,587
29	1464,15	1460,50	1462,32	1,825
30	1454,15	1460,50	1457,32	3,175
			$\bar{X} = 1462,1195$	$\bar{R} = 4,319$

Fuente: elaboración propia.

- Cálculos

Para este caso se utilizara límites de control específicos, dado que el proceso de verificación geométrica de redondez tiene tolerancias de aceptación, dicha tolerancia es de (± 19 mm).

M = 1 473,2 mm, diámetro de tubería

T = ± 19 mm, rango de tolerancias

n = 2, número de lecturas

Límites de control específicos

Para promedios

$$LSEx = 1473,2 + \frac{19}{\sqrt{2}} = 1486,64 \text{ mm}$$

$$LCEx = 1473,2 \text{ mm}$$

$$LIEx = 1473,2 - \frac{19}{\sqrt{2}} = 1459,76 \text{ mm}$$

Para intervalos

$$LSEr = 3,68 * \frac{19}{3} = 23,34 \text{ mm}$$

$$LCEr = 1,118 * \frac{19}{3} = 7,08 \text{ mm}$$

$$LIEr = 0 * \frac{19}{3} = 0 \text{ mm}$$

Donde:

LSE: Límite Superior Especificado

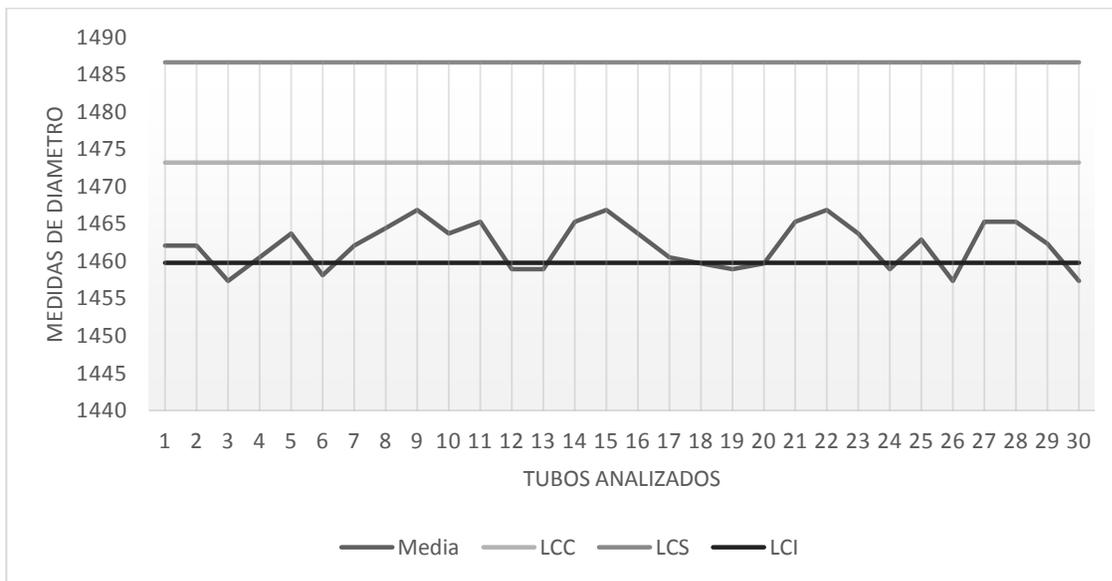
LCE: Línea Central Especificada

LIE: Límite Inferior Especificado

Los valores de las constantes A_2 , D_1 , D_3 , D_4 y d_2 , las cuales dependen del tamaño de la muestra, se encuentran en el anexo G.

Las gráfica de control, de la verificación de control geométrico en redondez se presentan a continuación.

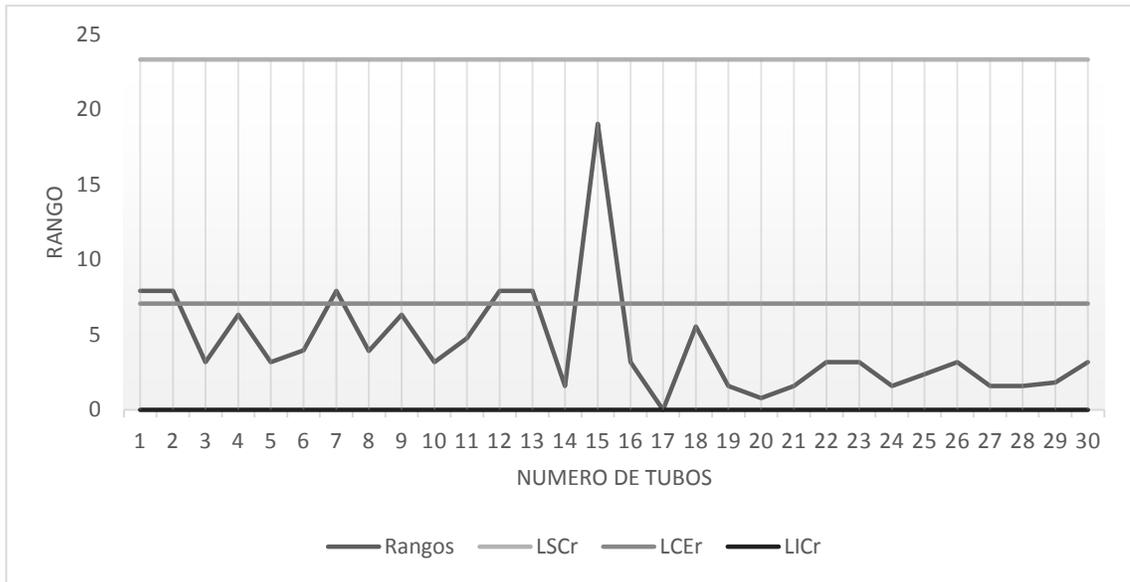
Figura 47. **Gráfica de medias en verificación geométrico en redondez**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

Como se puede observar en el gráfico de medias, se refleja que el proceso no está en control estadístico con respecto a la tendencia central, puesto que varias muestras se encuentran fuera del límite inferior de control.

Figura 48. **Gráfica de rangos en verificación geométrica en redondez**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

Como se puede observar en la gráfica de rangos, las mediciones tomadas en los diferentes diámetros de los tubos se encuentran bajo control estadístico en cuanto a variabilidad, ya que no hubo muestras fuera de los límites.

5.4.5. **Control estadístico en verificación geométrica de rectitud**

La variable que se controlara durante el proceso de la verificación geométrica de rectitud, es el desalineamiento que se produce en el tubo según la longitud que este posee, la Norma AWWA C-200 establece que la tubería puede tener un desalineamiento de 1/8 de pulgada (3,175 mm) por cada 10' (3,048 m) de longitud.

Para realizar este control se analizarán 30 tubos secuencialmente, a cada tubo se le tomo tres lecturas del desalineamiento sobre puntos establecidos, este control se realizará para determinar si el proceso cumple con las tolerancias anteriormente mencionadas.

Los datos obtenidos se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla XVIII. **Datos obtenidos en verificación geométrica de rectitud**

VERIFICACION GEOMETRICA DE RECTITUD					
No de tubo	lectura 1 x_1 (mm)	lectura 2 x_2 (mm)	lectura 3 x_3 (mm)	Media \bar{x} (mm)	Rango R (mm)
1	6	10	5	7,000	5
2	8	4	7	6,333	4
3	3	8	5	5,333	5
4	11	11	11	1,00	0
5	7	11	8	8,667	4
6	10	5	12	9,000	7
7	10	7	9	8,667	3
8	10	7	8	8,333	3
9	12	10	4	8,667	8
10	12	7	9	9,333	5
11	12	10	10	10,67	2
12	0	6	6	4,000	6
13	8	12	7	9,000	5
14	8	13	6	9,000	7
15	3	13	8	8,000	10
16	8	10	12	10,00	4
17	7	8	3	6,000	5
18	7	10	4	7,000	6
19	9	7	13	9,667	6
20	10	13	10	11,00	3
21	7	13	15	11,67	8
22	10	5	13	9,333	8

Continuación de la tabla XVIII.

No de tubo	lectura 1 x_1 (mm)	lectura 2 x_2 (mm)	lectura 3 x_3 (mm)	Media \bar{x} (mm)	Rango R (mm)
23	9	11	8	9,333	3
24	9	10	8	9,000	2
25	11	8	4	7,667	7
26	4	10	4	6,000	6
27	10	6	6	7,333	4
28	6	13	5	8,000	8
29	12	7	4	7,667	8
30	12	7	3	7,333	9
				$\bar{\bar{x}} = 8,333$	$\bar{R} = 5,3667$

Fuente: elaboración propia.

- Cálculo: para este caso se utilizaran límites de control de procesos, por el motivo que el desalineamiento de un tubo no tiene un valor específico al cual se le pueda sumar o restar las tolerancias, lo que se busca en este control es que las lecturas tomadas en los diferentes tubos entren en el rango de aceptación estipulada por la norma.

Cálculo de desalineamiento:

Longitud de tubo de vapor = 40 pies (12,192 m)

Desalineamiento	Longitud
0.003175 m	3.048 m
X	12.192 m

$$X = \frac{(12,192 \text{ m}) * (0,003175 \text{ m})}{3,048 \text{ m}} = 0,0127 \text{ m} = 12,7 \text{ mm}$$

Por lo tanto para una tubería de 12,192 metros de largo el rango de desalineamiento máximo es (0 mm, 12,7 mm).

Límites de control de procesos

Para promedios

Para intervalos

$$LSC = 8,333 + 1,023 * 5,67 = 13,82 \text{ m}$$

$$LSCr = 2,575 * 5,367 = 13,82 \text{ m}$$

$$LCCx = 8,333 \text{ m}$$

$$LCEr = 5,367 \text{ m}$$

$$LSCx = 8,333 - 1,023 * 5,367 = 2,84 \text{ m}$$

$$LICr = 0 * 5,367 = 0 \text{ m}$$

Donde:

LSC: Límite Superior de Control

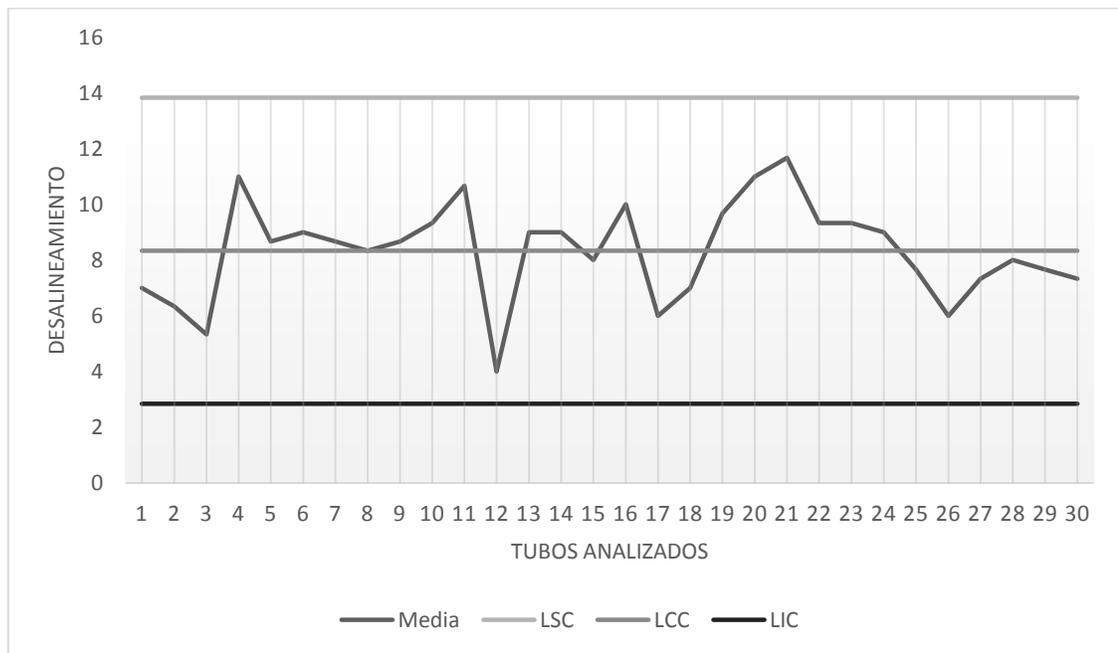
LCC: Línea Central de Control

LIC: Límite Inferior de Control

Los valores de las constantes A_2 , D_1 , D_3 , D_4 y d_2 , las cuales dependen del tamaño de la muestra, se encuentran en el anexo G.

Las gráfica de control en la verificación geométrica de rectitud se presentan a continuación.

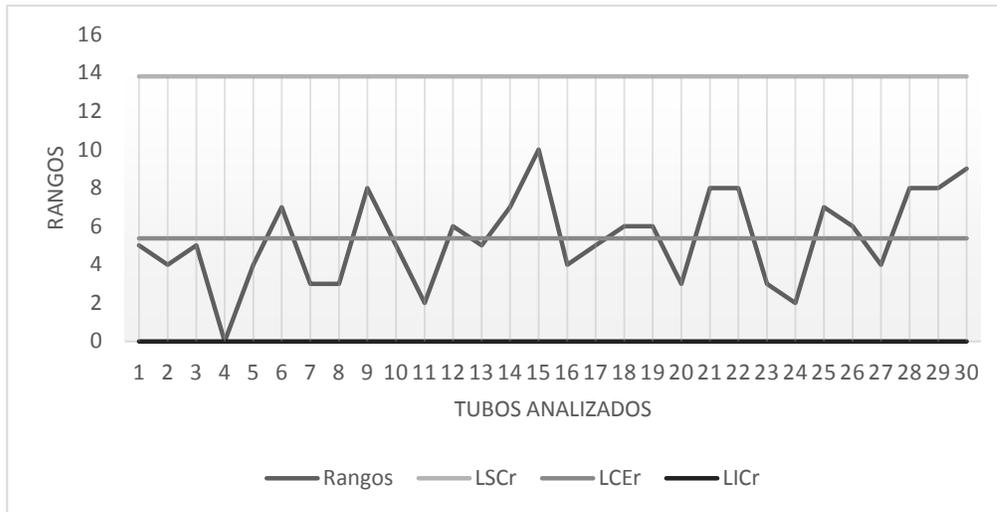
Figura 49. **Gráfica de medias en verificación geométrica de rectitud**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

Como se puede observar en el gráfico de medias, se refleja que el proceso está en control estadístico con respecto a la tendencia central, puesto que no se encontraron muestras fuera de los límites de control.

Figura 50. **Gráfica de rangos en verificación geométrica de rectitud**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

Como se puede observar en la gráfica de rangos, las medidas de desalineamiento tomadas en los tubos se encuentran bajo control estadístico en cuanto a variabilidad, ya que no hubo muestras que sobrepasaran los límites de control.

5.4.6. Control estadístico de END volumétrico

La variable que estará bajo control es la longitud de los defectos encontrados a través del ultrasonido en las juntas soldables, para realizar este control se analizará treinta tubos con forme estos vayan saliendo del proceso de soldadura, a cada tubo se le analizarán tres metros de soldadura. Para control se analizará un metro por junta, de esta manera se tiene tres lecturas, la selección de las juntas se tomarán al azar ya sea circunferenciales o longitudinales. Luego de la inspección se procederá a medir las longitudes de

los defectos encontrados con el ultrasonido en cada junta. Con este control se determinara si el proceso de aplicación de soldadura se encuentra bajo control.

Los datos obtenidos se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla XIX. **Datos de longitud de defectos encontrados en cordones de soldadura**

CONTROL ESTADISITICO DE END VOLUMETRICOS					
No de Tubo	lectura 1 x_1 (cm)	lectura 2 x_2 (cm)	lectura 3 x_3 (cm)	Media \bar{x} (Cm)	Rango R (cm)
1	18	46	17	27,0000	20
2	9	35	16	20,0000	26
3	33	16	26	25,0000	17
4	45	16	22	27,6667	29
5	36	19	25	26,6667	17
6	22	14	29	21,6667	15
7	5	25	8	12,6667	20
8	19	22	3	14,6667	16
9	12	24	8	14,6667	16
10	44	30	1	25,0000	43
11	18	5	25	16,0000	20
12	18	25	5	16,0000	20
13	37	8	26	23,6667	29
14	53	2	30	28,3333	51
15	49	16	11	25,3333	38
16	47	28	57	44,0000	29
17	55	49	54	52,6667	6
18	19	70	52	47,0000	51
19	30	76	40	48,6667	46
20	51	38	78	55,6667	40
21	69	45	34	49,3333	35
22	59	76	35	56,6667	41
23	55	65	23	47,6667	42
24	60	30	54	48,0000	30
25	12	22	22	18,6667	10
26	7	8	6	7,0000	2
27	1	24	2	9,0000	22
28	8	2	4	4,6667	6
29	12	22	19	17,6667	7
30	19	18	12	16,3333	7
				$\bar{X} =$ 24,2444	$\bar{R} = 25,3333$

Fuente: elaboración propia.

- Cálculos

Para este proceso se utilizaran límites de control específicos, se utilizara el promedio de las muestras como valor medio, a este valor medio se le dará una tolerancia de $\pm 13,3$ por ciento de la longitud de soldadura que se analizara, esta tolerancia fue establecida por la empresa de control de calidad.

De esta manera cualquier tubo que posea una longitud de defectos mayor a las tolerancias dadas, automáticamente se analizara el 100 por ciento de la longitud de soldadura.

$$\begin{array}{rcl} 3 \text{ m} & \text{—} & 100 \% \\ T & \text{—} & 13.3 \% \end{array}$$

$M = 24$ cm, longitud de soldadura con defectos aceptable.

$T = \pm 40$ cm, rango de tolerancias

$n = 3$, número de lecturas

Límites de control específicos

Para promedios

$$LSEx = 24 + \frac{40}{\sqrt{3}} = 47,09 \text{ cm}$$

$$LCEx = 24 \text{ cm}$$

$$LIEx = 24 - \frac{40}{\sqrt{3}} = 0,905 \text{ cm}$$

Para intervalos

$$LSEr = 4,35 * \frac{40}{3} = 58,10 \text{ cm}$$

$$LCEr = 1,69 * \frac{40}{3} = 22,57 \text{ cm}$$

$$LIEr = 0 * \frac{40}{3} = 0 \text{ cm}$$

Donde:

LSE: Límite Superior Especificado

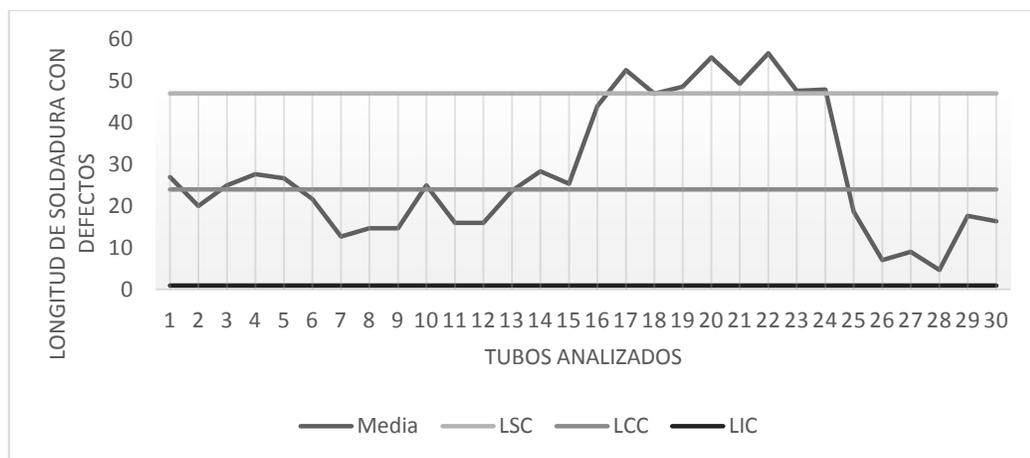
LCE: Línea Central Especificada

LIE: Límite Inferior Especificado

Los valores de las constantes A_2 , D_1 , D_3 , D_4 y d_2 , las cuales dependen del tamaño de la muestra, se encuentran en el anexo G.

Las gráficas de control de medias de la longitud con defectos en soldadura se presentan a continuación.

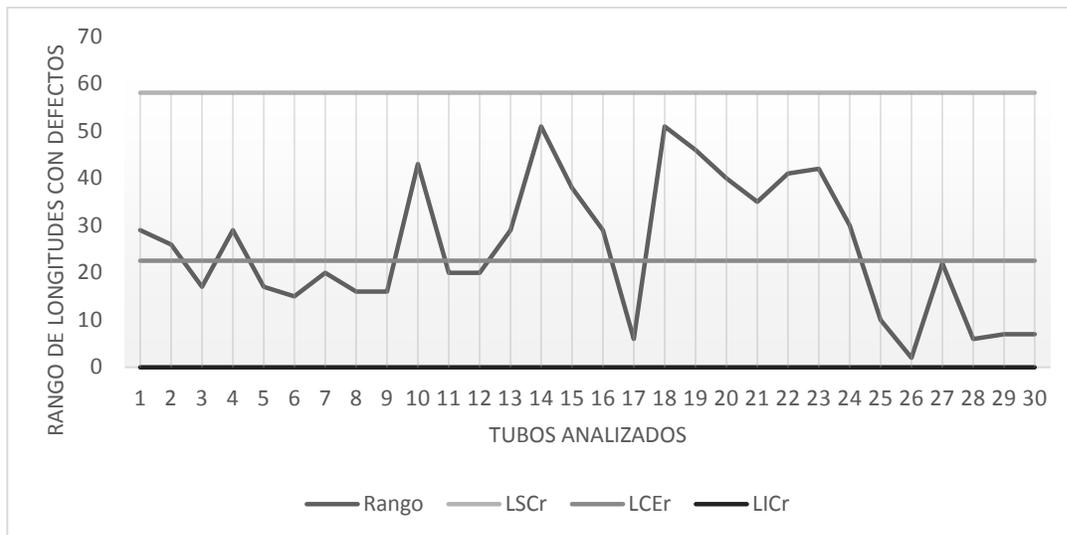
Figura 51. **Gráfica de medias de longitud con defectos de soldadura**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

Como se puede observar en el gráfico de medias, se refleja que el proceso de aplicación de soldadura no está en control estadístico con respecto a la tendencia central, puesto que varias muestras están fuera del límite superior de control.

Figura 52. **Gráfica de rangos de longitud con defectos de soldadura**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

Como se puede observar en la gráfica de rangos, las longitudes de defectos encontradas en los cordones de soldadura en los tubos se encuentran bajo control estadístico en cuanto a variabilidad, ya que no hubo muestras fuera de los límites.

5.5. Análisis e interpretación de resultados del control estadístico en la fabricación, armado y aplicaciones de soldadura en tubería de vapor de escape

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el control estadístico de calidad en la fabricación, armado y aplicaciones de soldadura en tubería de vapor de escape.

5.5.1. Análisis e interpretación de resultados en verificación de longitud lámina

Para determinar si las láminas utilizadas en la fabricación de tubería poseen la longitud adecuada para que estas pudieran ser roladas, se analizó la longitud de seis láminas durante veinte días, de este análisis se determinó a través de gráficas de control que las muestras 6 y 10 de los datos tomados se encuentran fuera del límite superior de control. Al analizar las muestras 6 y 10 se puede observar que las medias de la longitud están 4 milímetros y 2 milímetros por encima del límite de control superior. Lo cual quiere decir que las láminas en las muestras 6 y 10 tienen aproximadamente una longitud de 11 milímetros y 13 milímetros más de la establecida, lo cual es inaceptable en el procesos.

Tabla XX. Diferencia entre valores de control de longitud de lámina

Verificación dimensional de lamina			
No de muestras	Media \bar{x} (m)	Promedio de la muestra $\bar{\bar{x}}$ (m)	Diferencia entre media y promedio $Y = (\bar{x} - \bar{\bar{x}})$ mm
6	4,647	4,634	13
10	4,645	4,634	11

Fuente: elaboración propia.

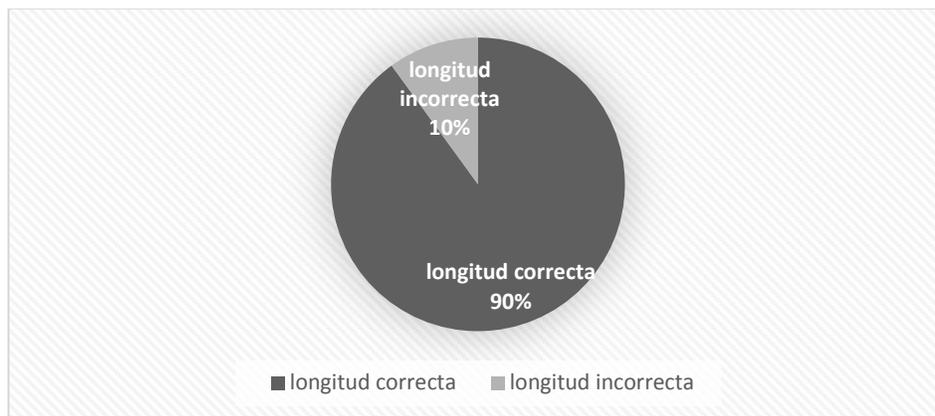
Las causas de las variaciones de longitud en las muestras 6 y 10, pueden ser atribuidas a lo siguiente:

- El personal encargado de escuadrar la lámina, por algún motivo no haya colocado de manera adecuada las dimensiones de la longitud a la lámina.

- El pantógrafo que se utilizó, no haya sido calibrado y colocado correctamente al momento de realizar el corte sobre la lámina.

En total se analizaron 120 láminas de las cuales 12 se encuentran fuera de control de longitud. Esto quiere decir que el 90 por ciento de las láminas que se utilizaron para la fabricación de la tubería de vapor de escape se encuentra bajo control dimensional, mientras el otro 10 por ciento de las láminas no se encuentra con las dimensiones correctas.

Figura 53. **Resultados de control de calidad en verificación de longitud de lámina**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

5.5.2. Análisis e interpretación de resultados de verificación de bisel de lámina

Para determinar si los ángulos de bisel de las láminas se preparaban dentro de las tolerancias de la Norma AWWA C-200 se midió el ángulo a seis láminas durante un período de veinte días, luego de este análisis se determinó

a través de gráficas de control que los datos obtenidos en la muestra 13 se encuentra fuera del límite de control superior, al analizar las diferentes datos del punto 13 se encontró que la medida media del ángulo de bisel se encuentra fuera del rango de tolerancias establecidas para el proceso.

Tabla XXI. **Verificación de ángulos de bisel**

VERIFICACIÓN DE ANGULO DE BISEL								
No de muestras	lectura 1 x_1 (°)	lectura 2 x_2 (°)	lectura 3 x_3 (°)	lectura 4 x_4 (°)	lectura 5 x_5 (°)	lectura 6 x_6 (°)	Media \bar{x}	tolerancias T (°)
13	33	32	31	33	31	33	32,167	(27° - 32°)

Fuente: elaboración propia.

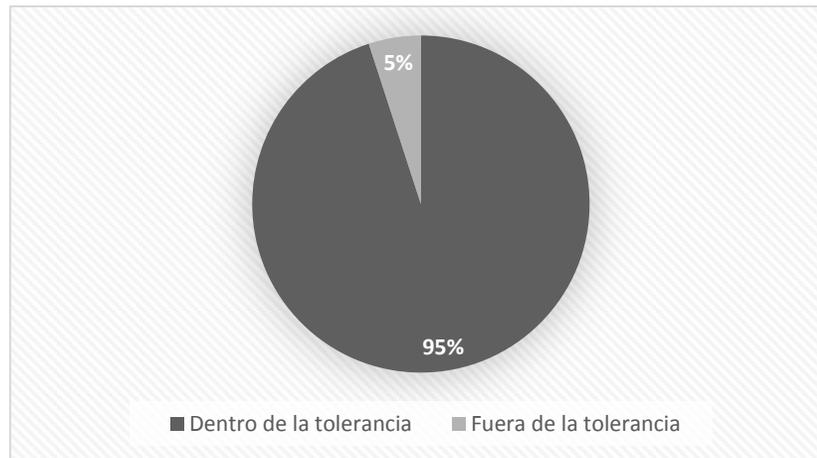
Las posibles causas de las variaciones en las medidas de los ángulos, pueden ser atribuidas a lo siguiente:

- Mala calibración del ángulo de corte en el pantógrafo
- Preparación del ángulo de forma manual por medio de discos abrasivos
- El encargado de preparar los biseles no contará con una plantilla para verificar el ángulo del bisel

En total se analizaron 120 biseles de lámina, de los cuales 6 se encuentran fuera de la tolerancia permitida.

Esto quiere decir que el 95 por ciento de las láminas que se utilizaron en la fabricación de tubería de vapor de escape están dentro de la tolerancia mientras el otro 5 por ciento se encuentra fuera.

Figura 54. **Resultados de control de calidad en verificación de ángulo de bisel de lámina**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

5.5.3. Análisis e interpretación de resultados de verificación geométrica de tubería

A continuación se presentan los resultados del control de calidad estadístico en el análisis e interpretación de resultados de verificación geométrica de tubería de vapor de escape.

5.5.3.1. Resultado de verificación geométrica de redondez

Para determinar cuánto tubos fabricados cumplieron con la tolerancia de la Norma AWWA C-200 en cuanto a la redondez de los extremos, se tomó una muestra de 30 tubos a los cuales se les tomó dos lecturas del diámetro, luego con la ayuda de gráficas de control se determinó que los tubos 3, 6, 12, 13, 19, 24, 26, 30, se encuentran fuera del límite inferior de control, al analizar el

conjunto de datos se determinó que estos están fuera de la tolerancia mínima permitida, como se puede observar en la tabla, el tubo 3 está fuera de tolerancia por 2,44 milímetros. Esto quiere decir que el diámetro de los extremos de estos tubos tiene una longitud menor a la establecida.

Tabla XXII. **Resultados de verificación geométrica de redondez**

No de muestras	Diámetro (mm)	LCI (mm)	Media (mm)	LCI-Media (mm)
3	1473,20	1459,76	1457,33	2,44
6	1473,20	1459,76	1458,12	1,64
12	1473,20	1459,76	1458,91	0,85
13	1473,20	1459,76	1458,91	0,85
19	1473,20	1459,76	1458,91	0,85
24	1473,20	1459,76	1458,91	0,85
26	1473,20	1459,76	1457,33	2,43
30	1473,20	1459,76	1457,33	2,43

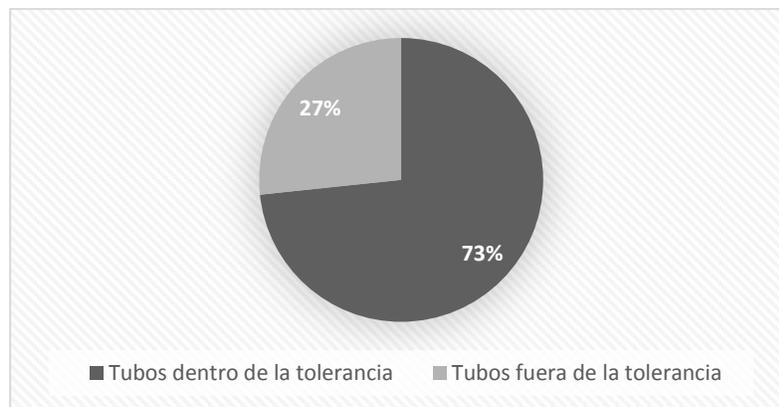
Fuente: elaboración propia.

Las posibles causas por las cuales el diámetro en los extremos de los tubos haya variado se pueden atribuir a lo siguiente.

- Al momento de cortar el empalme de prerolado de la lámina, esta no se haya cortado a la medida adecuada.
- La lámina no haya sido escuadrada correctamente.
- El cilindro que se colocó en los extremos no se haya rolado adecuadamente.
- Por falta de mantenimiento en los rodillos que conforman la roladora.

En total se verificaron 30 tubos de los cuales 8 de estos se encuentran fuera de las tolerancias permitidas por la Norma AWWA C-200, esto quiere decir que el 73 por ciento de la tubería fabricada se encuentra dentro la tolerancias, mientras el 27 por ciento restante no cumple con las tolerancia.

Figura 55. **Resultados de verificación geométrica de redondez**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

5.5.3.2. Resultado de verificación geométrica de rectitud

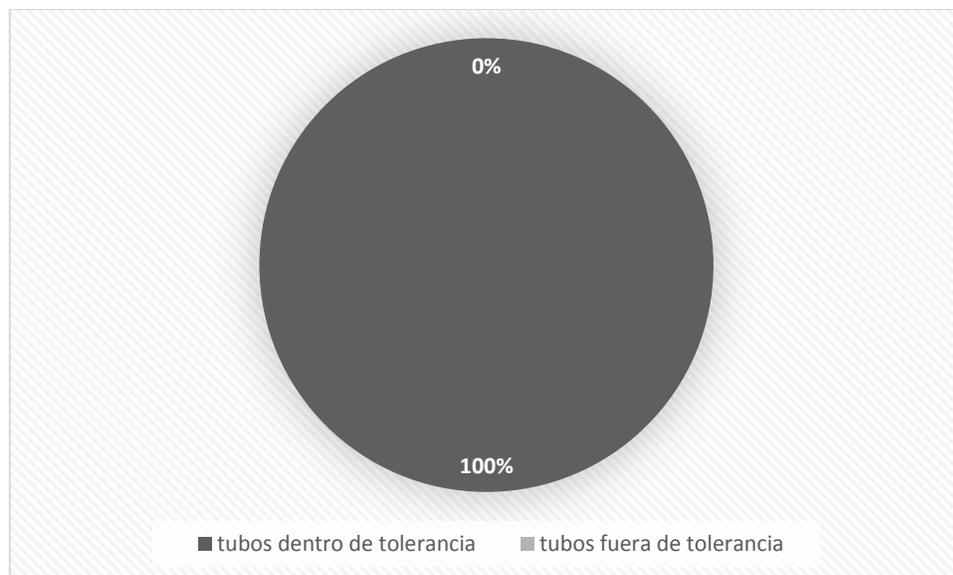
Para determinar cuánto tubos fabricados cumplían con la tolerancia de la Norma AWWA C-200 en cuanto a la rectitud de la longitud, se tomó una muestra de treinta tubos a los cuales se les tomo tres lecturas del desalineamiento que estos poseían, al momento de analizar los gráficos de control se encontró que el procesos de verificación geométrica de rectitud se encuentra bajo control estadístico, esto quiere decir que los treinta tubos analizados se encuentran en el rango de tolerancias establecidas por la Norma AWWA C-200.

El éxito de este proceso se debe a que dicha verificación se realizó en dos etapas. La primera etapa de la verificación se realizó cuando el tubo estaba armado, esto para verificar que el armado del tubo haya sido parejo.

La segunda etapa de la verificación se realizó después del proceso de soldadura, esto para verificar que no se haya producido un desalineamiento debido al calor aportado por la soldadura.

En total se analizaron 30 tubos de los cuales todos se encuentran dentro del rango de tolerancia, esto quiere decir que el 100 por ciento de la muestra se encuentra dentro de tolerancia.

Figura 56. **Resultados de verificación geométrica de rectitud**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

5.5.4. Resultados de END volumétrico

Para determinar la calidad de la soldadura aplicada en la tubería de vapor se analizó por medio del ultrasonido industrial el 10 por ciento de la longitud de soldadura a treinta tubos, luego de este análisis, se determinó por medio de gráficas de control que los tubos 17, 19, 20, 21, 22, 23 y 24, se encontraba fuera del límite de control superior, al momento de analizar los datos se determinó que la longitud de defectos en la soldadura de estos tubos había superado la tolerancia permitida. Como se puede observar el tubo 17 sobrepasa la tolerancia por 5,57 centímetros.

Tabla XXIII. Longitud de soldadura con defecto

RESULTADOS DE LONGITUD DE SOLDADURA CON DEFECTOS			
No de tubo	LCS (Cm)	Media (Cm)	LCS-Media (Cm)
17	47,09	52,6667	5,57
19	47,09	48,6667	1,57
20	47,09	55,6667	8,57
21	47,09	49,3333	2,24
22	47,09	56,6667	9,57
23	47,09	47,6667	0,57
24	47,09	48,0000	0,91

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con lo establecido por la empresa de control de calidad, si algún tubo no cumpliera con las tolerancias establecidas, se tendrá que analizar el 100 por ciento de la longitud de tubería.

En total se analizaron 90 metros de soldadura de estos 25,2 metros poseían defectos en la soldadura. Los cuales se procedieron a reparar, mientras estos se reparaban, se anotaron que defectos se encontraron a lo largo de la reparación de los 25,2 metros.

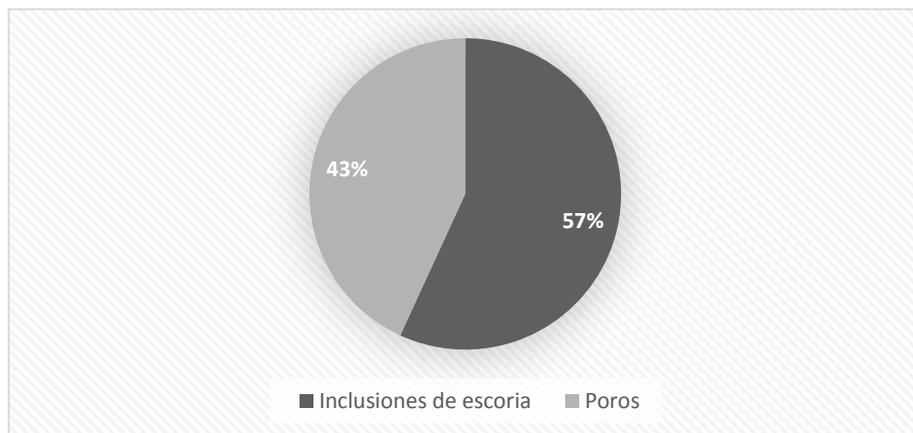
A continuación se presenta una tabla con los defectos encontrados durante el análisis de ultrasonido.

Tabla XXIV. **Principales defectos encontrados en cordones de soldadura**

Defectos	Longitud total del defecto encontrados durante el muestreo (m)
Poros	10,97
Inclusiones de escoria	14,45
Total de longitud	25,42

Fuente: elaboración propia.

Figura 57. **Principales defectos encontrados en cordones de soldadura**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

Como se puede observar en la gráfica el 57 por ciento de los defectos encontrados durante el análisis del ultrasonido se debe a grupos de inclusiones de escoria, el 43 por ciento restante se debe a poros.

Dentro de las posibles causas por las cuales se presenten poros dentro de los cordones de soldadura se encuentran.

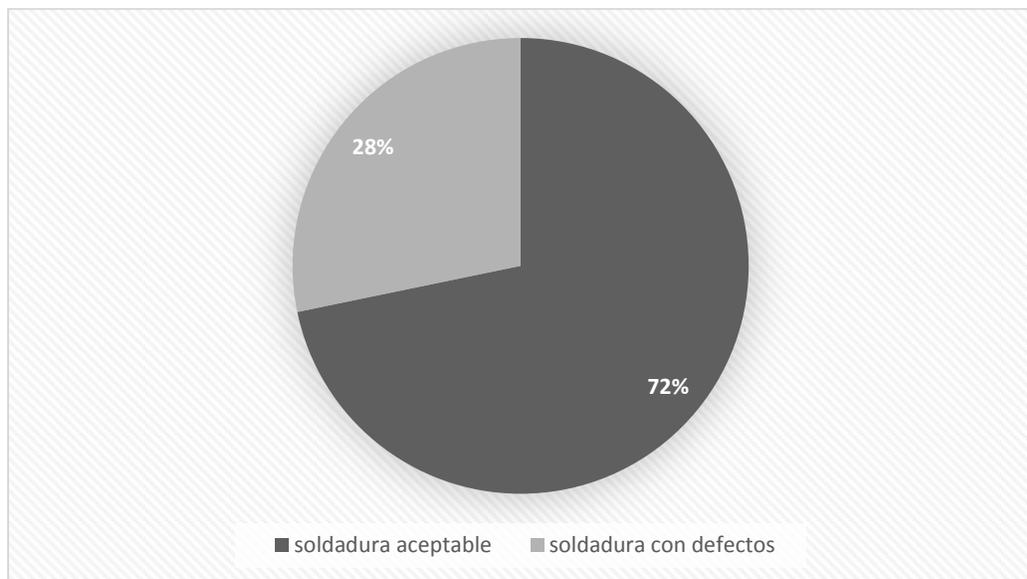
- Material de aporte de baja calidad.
- El termo de gas protector ya no posee la presión adecuada.
- El flujo de gas protector que se utiliza en la soldadura, sea demasiado alto.
- Remoción del gas protector por corrientes de aire cuando se abrían los portones del taller para realizar movimientos.
- Condiciones ambientales, si los tubos fueron soldados mientras llovía, la humedad puede ser un factor de la presencia de poros.
- Las mangueras de gas protector estén rotas o con fugas.
- El uso incorrecto de antisalpicaduras, cuando se usa en exceso, el material antisalpicadura se convierte en un contaminante.
- Las boquillas utilizadas para la soldadura GMAW, estén tapadas o limitadas.

Dentro de las posibles causas por las cuales se presenten inclusiones de escoria dentro de los cordones de soldadura se encuentran.

- Restos de residuos de carbón entre las juntas de soldadura, debidos al proceso de oxicorte.
- Mala limpieza del bisel de soldadura.
- Mala limpieza entre pases de soldadura SMAW.

En total se analizaron 90 metros de soldadura de estos el 25,42 metros se encontraba con defectos, esto quiere decir que 72 por ciento de la soldadura aplicada en la tubería de vapor de escape fue aceptada mientras el 28 por ciento tuvo que ser reparada.

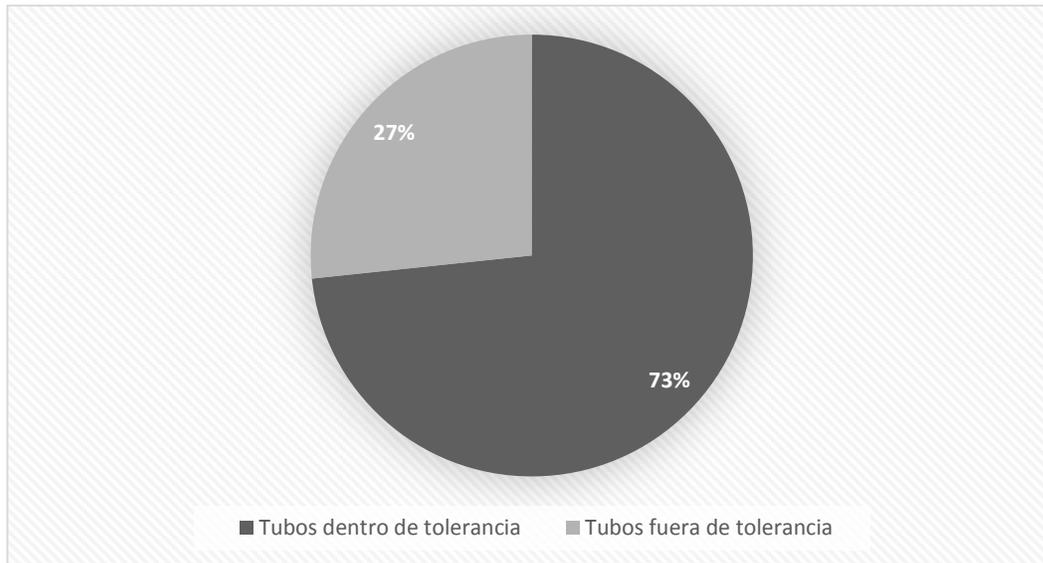
Figura 58. **Resultado de calidad en la soldadura de vapor de escape**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

De los 30 tubos analizados por ultrasonido, 8 estuvieron fuera de la tolerancia permitida, esto quiere decir que 73 por ciento de los tubos fabricados están dentro del rango de tolerancias, mientras el 27 por ciento restante se encuentra fuera de tolerancia.

Figura 59. **Resultados de verificación por END volumétrico**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

5.6. Resultados de control de calidad durante los procesos de fabricación armado y aplicación de soldadura

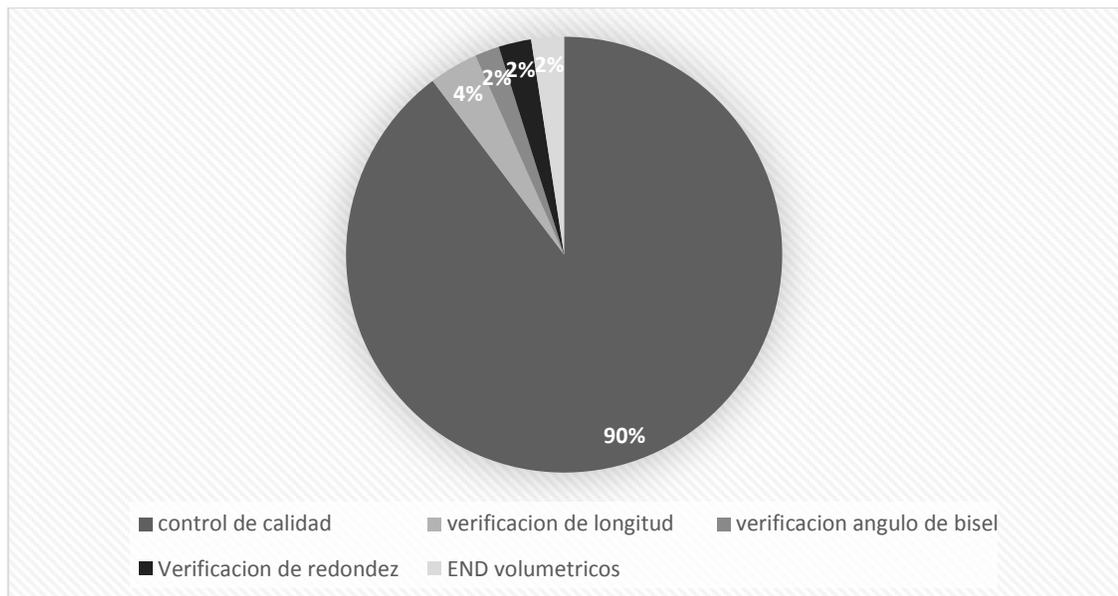
Uno de los objetivos de este estudio durante la elaboración de este documento era determinar la calidad en los diferentes procesos de la fabricación de tubería de vapor.

Durante el control de calidad en la verificación de longitud y ángulo de bisel de lámina, se analizó un total de 120 láminas, de esta 18 fueron rechazadas, en la verificación geométrica se analizaron 30 tubos de los cuales 8 de estos estaban fuera de tolerancias de calidad, en el muestreo por ultrasonido industrial se analizaron 30 tubos de los cuales 8 no cumplían con la tolerancias establecidas.

A partir de los resultados mencionados anteriormente se pudo establecer la calidad durante los diferentes los procesos de fabricación de tubería de vapor de escape.

A continuación se presenta el gráfico de resultados.

Figura 60. **Determinación de la calidad de los diferentes procesos de fabricación en tubería de vapor de escape**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel.

Como se puede observar en el gráfico el 90 por ciento de la producción de tubería de vapor de escape se encuentra bajo control de calidad, mientras el otro 10 por ciento se encuentra fuera, debido a que los procesos no cumplen con las tolerancias estipuladas en la fabricación.

5.7. Plan de mejoramiento de la calidad en la fabricación de tubería de vapor de escape

Con el plan de mejoramiento de la calidad se desea disminuir los reproceso que se producen durante la fabricación de la tubería de vapor de escape, de esta manera se espera reducir los costos y aumentar la producción en la fabricación.

Para poder logra el mejoramiento de la calidad en la fabricación de tubería de vapor de escape será necesario implementar las siguientes medidas.

5.7.1. Capacitaciones permanentes para personal operativo

Las oportunidades de capacitación típicamente se encuentran disponibles a través de los fabricantes o distribuidores de equipo.

La capacitación y el involucramiento del empleado se basan en la idea de mejora continua. El personal operativo mejor entrenado se involucrará e invertirá más en el trabajo que realizan. El entrenamiento empodera a los empleados para que se sientan dueños de la porción del proceso que les toca.

La capacitación adecuada requiere del compromiso de tiempo y esfuerzo, pero la inversión puede redituar a largo plazo al reducir tiempos muertos, ineficiencias y pérdida de productividad, además de mejorar la calidad del producto final.

5.7.2. Establecer prácticas adecuadas de almacenamiento y manejo de material de aporte

Tomar precauciones sencillas para almacenar y manejar metales de aporte de manera correcta puede ayudar al mejoramiento de la calidad en el proceso de aplicación de soldadura.

Los metales de aporte dañados, incluyendo electrodos recubiertos y alambre sólido y tubular, pueden causar una pobre calidad en la soldadura que finalmente conduzca al costoso y tardado reproceso. Así también, si los metales de aporte se mojan o recogen contaminantes como polvo, aceite o grasa, deberán remplazarse.

Al salir de la fábrica, los metales de aporte se encuentran en empaques sellados. El primer paso para mantenerlos en las mejores condiciones posibles es siempre usar guantes al retirarlos de su empaque original o al prepararlos para soldador, ya que los metales de aporte pueden fácilmente recoger sudor de las manos descubiertas.

Los operarios de la soldadura deberán mantener los metales de aporte lejos de áreas en el taller donde se lleve a cabo corte por oxcombustibles o plasmas, ya que el polvo del corte que se origina en esos procesos puede acumularse en la superficie de alambres sólidos y tubulares y provocar la pobre alimentación del alambre. El polvo además puede congestionar la punta de contacto y la tobera en la pistola para soldadura por arco metálico protegido con gas (GMAW), provocando pobre conductividad eléctrica y un arco inestable o errático. Adicionalmente, los metales de aporte deberán mantenerse alejados del agua, aceite y grasas; estos contaminantes pueden llevar a una pobre calidad de soldadura, al reproceso u otros problemas de desempeño.

Es importante almacenar adecuadamente los metales de aporte cuando no estén en uso. Como mínimo, los operarios de soldadura deberán cubrir el carrete de alambre de soldadura con una bolsa de plástico si se deja en el alimentador durante la noche. Una práctica mejor es retirar el carrete de la bobina del alimentador, colocarla en una bolsa limpia de plástico y cerrarla de forma segura. Almacenando está en un área limpia y seca hasta que se vaya a utilizar de nuevo.

Usar un alimentador de alambre con cubierta, cuando sea posible, es otra buena manera de proteger al alambre de soldadura del ambiente. Los electrodos recubiertos deberán almacenarse en hornos de conformidad con las recomendaciones del fabricante.

5.7.3. Hacer compras basándose en la calidad, no en el precio

Es importante seleccionar el mejor material de aporte y equipos para la tarea, y algunas veces esto significa hacer una inversión mayor. Aunque los ahorros por costo directos son tentadores, lo más barato no es siempre lo mejor ya que más adelante puede conducir a problemas tales como la pobre calidad de la soldadura y la necesidad de más mantenimiento.

En lo que respecta a metales de aporte, no es algo extraordinario experimentar el tiempo muerto que se asocia a una alimentación pobre de alambre, el chisporroteo excesivo o los defectos de soldadura cuando se usan productos de baja calidad. Los trabajadores pudieran encontrarse a sí mismos pasando una cantidad excesiva de tiempo en actividades que afecten la productividad, tales como aplicar reprocesos o pulidos posteriores a soldadura o antisapilcadura.

Los metales de aporte de más alta calidad a menudo reducen al mínimo los costos de mano de obra y proporcionan mejor calidad de soldadura y mayor productividad.

5.7.4. Creación de hojas de verificación

Un aspecto fundamental en la mejor de la calidad es contar con información objetiva que facilite las acciones y decisiones sobre materiales, artículos, lotes, procesos.

La hoja de verificación es un formato construido especialmente para recabar datos, de tal forma que sea sencillo su registro sistemático y que sea fácil analizar la manera en los principales factores que intervienen influyen en una situación o problema específico.

Una característica que debe reunir una buena hoja de verificación es que visualmente se pueda hacer un primer análisis que permita apreciar la magnitud y localización de los problemas principales.

Alguna de las situaciones en las que resulta de utilidad obtener datos a través de las hojas de verificación son las siguientes.

- Describir resultados de operación o de inspección.
- Examinar artículos defectuosos (identificando razones, tipos de fallas, área de donde proceden, así como máquina, material u operador que participe en su elaboración).
- Confirmar posibles causas de problemas de calidad.
- Analizar o verificar operaciones y evaluar el efecto de los planes de mejora.

- Recomendaciones para el uso de una hora de verificación
 - Determinar qué situación es necesaria evaluar, sus objetivos y el propósito que se persigue. A partir de lo anterior, definir qué tipos de datos o información se requieren.
 - Establecer el periodo durante el cual se obtendrán los datos.
 - Diseñar el formato apropiado. Cada hoja de verificación debe llevar la información completa sobre el origen de los datos: fecha, turno, máquina, procesos, quien toma los datos. Una vez obtenidos, se analizan e investigan las causas de su comportamiento. Para ello deben utilizarse gráficas. Asimismo, se debe buscar los formatos de registros de datos, para que cada día sean más claros y más útiles.
 - El uso excesivo de la hoja de verificación puede llevar a obtener datos sin ningún objetivo concreto e importante. Para evitar esto, debe procurarse que cada hoja con la que se obtienen los datos tenga un objetivo claro y de importancia.

En el anexo H se encuentran las diferentes hojas de verificación, creadas para el control de la calidad en la fabricación, armado y aplicaciones de soldadura en tubería de vapor de escape.

CONCLUSIONES

1. Al determinar la calidad en la fabricación, armado y aplicaciones de soldadura, se determinó que el 90 por ciento de procesos se encuentran bajo las tolerancias estipuladas para los diferentes procesos mientras el 10 por ciento se encuentran fuera de ellos, para poder corregir este porcentaje se debe mejorar el escuadre y ángulo de bisel de lámina, así también mejorar los procesos de aplicación de soldadura como la calidad del material de aporte.
2. Al analizar el proceso de producción de tubería de vapor de escape se observó que se presentan algunas deficiencias que disminuyen la calidad del proceso, como por ejemplo: demoras en la producción, debido a reproceso en el escuadre y preparación del ángulo de bisel de lámina, así como reparación de cordones de soldadura, para poder evitar estos reproceso es conveniente que la empresa capacite constantes al personal operativo.
3. El muestreo por END volumétrico y verificación geométrica de tubería, se consideran como puntos principales del proceso de control de calidad. Se observó que si un tubo no cumplía con las tolerancias permitidas en dichos procesos, estas era considerado de mala calidad.

4. Los aspectos reconocidos como causas probables de disminución de calidad en la fabricación, armado y aplicaciones de soldadura de tubería de vapor de escape son: mala calibración de equipo industrial utilizado durante los diferentes procesos, errores humanos, utilización de metal de aporte de baja calidad, no contar con instrumentos de medición adecuados.
5. El uso de técnicas estadísticas (gráficos de control por variables) en puntos críticos durante la fabricación, armado y aplicaciones de soldadura, permitieron determinar si se encuentra bajo control cada área y que ocasiono que los puntos estuvieran fuera de los límites permitidos, si este fuera el caso.
6. La forma propuesta para aumentar la calidad y minimizar las deficiencias tanto en la materia prima como el proceso de fabricación requiere que se lleve un control constante y específico para cada área, utilizar hojas de registro, verificación y pruebas a través de ensayos no destructivos y brindar capacitaciones contantes al personal operativo de la empresa.

RECOMENDACIONES

Al gerente general

1. Mejorar las condiciones físicas de la empresa, área de trabajo, protección para los trabajadores en lugares de riesgo de accidentes, todo esto para evitar demoras en los procesos, daños al personal y costos adicionales, como consecuencia de estos.

Al supervisor de calidad

2. Realizar constantemente hojas de verificación y registros de datos para la construcción de gráficos de control y estudiar las mejoras que se han obtenido en la calidad o si se presentan deficiencias, analizar las causas y corregirlas.

Al jefe de taller

3. Revisar en forma periódica el mantenimiento de los equipos y la maquinaria, ya que influyen considerablemente en la calidad de los productos.
4. Brindar las herramientas necesarias para mejorar los procesos y por ende la calidad de los productos.

Al personal operativo

5. Prestar todo el apoyo y el interés necesario para lograr mejores los procesos de fabricación de tubería de vapor de escape, lo que beneficiara a la empresa y a ellos mismos.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACUÑA, Jorga. *Control de calidad*. 3a ed. Costa Rica: Tecnológica de Costa Rica, 2002.
2. ASMI. *Norma B31.3: tuberías de procesos*, 2008. 25 p.
3. _____. *Sección V: Ensayos no destructivos*, 2010. 11 p.
4. _____. *Sección IX: calificación de procedimientos de soldadura y uniones fuertes, soldaduras, brazer y de operadores de soldadura y uniones fuertes*. 2010. 21 p.
5. AWWA, Norma C-200: *estándares para tubería de agua de acero 6 pulg. (150 mm) en adelante*. 1997.
6. DOYLE, LAWRENCE. *Materiales y procesos de manufactura para ingenieros*. 3a ed. México: Prentice Hall Hispanoamérica, 1992. 23 p.
7. GUTIÉRREZ, HUMBERTO. *Calidad total y productiva*. México: Editorial McGraw-Hill, 1997. 9 p.
8. HELLER, CHARLES. *Handbook of nondestructive evaluation*. 2a ed. United States of America. Editorial: McGraw-Hill, 2013. 33 p.

ANEXOS

Anexo 1.

Clasificación de los Metales bases nombrados como P- numero dados por ASME IX.

Spec.	Grade	UNS	P	G	ISO 15608	KSI (MPa)	D1.1 Group	Nominal composition
A-1043	50		U		1.2	65 (450)	T4.9	C-Mn-Si
A-1043	36		U		1.1	58 (400)	T4.9	C-Mn-Si
A-131	DH36		U		1.2	71 (490)	II	C-Mn-Si
A-131	EH36		U		1.2	71 (490)	II	C-Mn-Si
A-131	EH32		U		1.2	64 (440)	II	C-Mn-Si
A-131	DS		U		1.1	58 (400)	I	C-Mn-Si
A-131	DH32		U		1.2	64 (440)	II	C-Mn-Si
A-131	D		U		1.1	58 (400)	I	C-Mn-Si
A-131	CS		U		1.1	58 (400)	I	C-Mn-Si
A-131	B		U		1.1	58 (400)	I	C-Mn-Si
A-131	AH36		U		1.2	71 (490)	II	C-Mn-Si
A-131	AH32		U		1.2	64 (440)	II	C-Mn-Si
A-131	A		U		1.1	58 (400)	I	C
A-131	E		U		1.1	58 (400)	I	C-Mn-Si
A-167	Type 302B	S30215	8	1	8.1	75 (515)	U	18Cr-8Ni-2Si
A-167	Type 308	S30800	8	2	8.2	75 (515)	U	20Cr-10Ni
A-167	Type 309	S30900	8	2	8.2	75 (515)	U	23Cr-12Ni
A-167	Type 310	S31000	8	2	8.2	75 (515)	U	25Cr-20Ni

Continuación del anexo 1.

A-240		S32101	10H	1	10.1	101 (700)	U	21Cr-5Mn-1.5Ni-Cu-N
A-240		S32101	10H	1	10.1	94 (650)	U	21Cr-5Mn-1.5Ni-Cu-N
A-36		K02600	1	1	11.1	58 (400)	II	C-Mn-Si
A-36		K02600	1	1	11.1	58 (400)	I	C-Mn-Si
A-441			U			60 (415)	II	C-Mn-Si-Cb-V
A-514	P	K21650	11B	8	3.1	110 (760)	T4.9	1.25Ni-1Cr-0.5Mo
A-514	Q		11B	9	3.1	110 (760)	T4.9	1.3Ni-1.3Cr-0.5Mo-V
A-514	P	K21650	11B	8	3.1	100 (690)	T4.9	1.25Ni-1Cr-0.5Mo
A-514	F	K11576	11B	3	3.1	110 (760)	T4.9	0.75Ni-0.5Cr-0.5Mo-V
A-514	E	K21604	11B	2	3.1	110 (760)	T4.9	1.75Cr-0.5Mo-Cu
A-514	E	K21604	11B	2	3.1	100 (690)	T4.9	1.75Cr-0.5Mo-Cu
A-514	B	K11630	11B	4	3.1	110 (760)	U	0.5Cr-0.2Mo-V
A-514	A	K11856	11B	1	3.1	110 (760)	U	0.5Cr-0.25Mo-Si
A-514	Q		11B	9	3.1	100 (690)	T4.9	1.3Ni-1.3Cr-0.5Mo-V
A-516	55	K01800	1	1	1.1	55 (380)	I	C-Si
A-516	60	K02100	1	1	1.1	60 (415)	I	C-Mn-Si
A-516	65	K02403	1	1	1.1	65 (450)	II	C-Mn-Si
A-516	70	K02700	1	2	11.1	70 (485)	II	C-Mn-Si
A-517	J	K11625	11B	6	3.1	115 (795)	T4.9	C-0.5Mo
A-517	A	K11856	11B	1	3.1	115 (795)	T4.9	0.5Cr-0.25Mo-Si

Fuente: ASME 2010, Sección IX Calificación de procedimientos de soldadura y uniones fuertes, soldadores, brazer y de operadores de soldadura y uniones fuertes, Tabla QW- 422.

Anexo 2.

Clasificación de Análisis de Metal de Soldadura Ferrosa para Calificación de Procedimientos

No. A	Tipos de depósitos de soldadura	Análisis, %(Nota ¹¹)					
		C	Cr	Mo	Ni	Mn	Si
1	Acero suave	0.20	-----	-----	-----	1.60	1.00
2	C- Mo	0.15	0.50	0.40-0.65	-----	1.60	1.00
3	Cr(0.4% a 2%)-Mo	0.15	0.40-2.00	0.40-0.65	-----	1.60	1.00
4	Cr (2% a 6%)- Mo	0.15	2.00-6.00	0.40-1.50	-----	1.60	2.00
5	Cr(6% a 10.5%)-Mo	0.15	6.00-10.5	0.40-1.50	-----	1.20	2.00
6	Cromo-Martensíticos	0.15	11.00–15.00	0.70	-----	2.00	1.00
7	Cromo- Ferríticos	0.15	11.00-30.00	1.00	-----	1.00	3.00
8	Cromo- Niquel	0.15	14.50-30.00	4.00	7.50-15.00	2.50	1.00
10	Niquel al 4%	0.15	-----	0.55	0.80-4.00	1.70	1.00
11	Manganeso- Molibdeno	0.17	-----	0.25-0.75	0.85	1.25-2.25	1.00
12	Ni-Cr-Mo	0.15	1.50	0.25-0.80	1.25-280	0.75-225	1.00

Fuente: ASME 2010, Sección IX Calificación de procedimientos de soldadura y uniones fuertes, soldadores, brazer y de operadores de soldadura y uniones fuertes, Tabla QW- 442.

¹¹ Nota – Los valores simples mostrados arriba son máximos.

Anexo 3.

AGRUPAMIENTO DE ELECTRODOS Y VARILLAS DE SOLDADURA PARA LA CALIFICACION

F-No.	ESPECIFICACION ASME	CLASIFICACIÓN AWS	No. UNS
ACERO Y ALEACIONES DE ACERO			
1	SFA-5.1	EXX20	...
1	SFA-5.1	EXX22	...
1	SFA-5.1	EXX24	...
1	SFA-5.1	EXX27	...
1	SFA-5.1	EXX28	...
1	SFA-5.4	EXXX(X)26	...
1	SFA-5.5	EXX20-X	...
1	SFA-5.5	EXX27-X	...
2	SFA-5.1	EXX12	...
2	SFA-5.1	EXX13	...
2	SFA-5.1	EXX14	...
2	SFA-4.1	EXX19	...
2	SFA-5.5	E(X)XX15-X	...
3	SFA-5.1	EXX10	...
3	SFA-5.1	EXX11	...
3	SFA-5.5	E(X)XX10-X	...
3	SFA-5.5	E(X)XX11-X	...
4	SFA-5.1	EXX15	...
4	SFA-5.1	EXX16	...
4	SFA-5.1	EXX18	...
4	SFA-5.1	EXX18M	...
4	SFA-5.1	EXX48	...
4	SFA-5.4 Diferente a austenítico y dúplex	EXXX(X)-15	...
4	SFA-5.4 Diferente a austenítico y dúplex	EXXX(X)-16	...
4	SFA-5.4 Diferente a austenítico y dúplex	EXXX(X)-17	...
4	SFA-5.4 Diferente a austenítico y dúplex	E(X)XX15-X	...
4	SFA-5.4 Diferente a austenítico y dúplex	E(X)XX16-X	...
4	SFA-5.4 Diferente a austenítico y dúplex	E(X)XX18-X	...
4	SFA-5.5	E(X)XX18M	...
4	SFA-5.5	E(X)XX18M1	...
4	SFA-5.5	E(X)XX45	...
4	SFA-5.5		...
4	SFA-5.5		...
5	SFA-5.4 austenítico y dúplex	EXX(X)15	...
5	SFA-5.4 austenítico y dúplex	EXX(X)16	...
5	SFA-5.4 austenítico y dúplex	EXX(X)17	...
6	SFA-5.2	Todas las clasificaciones	...
6	SFA-5.9		...
6	SFA-5.17		...
6	SFA-5.18		...
6	SFA-5.20		...
6	SFA-5.22		...
6	SFA-5.23		...
6	SFA-5.25		...
6	SFA-5.26		...
6	SFA-5.28		...
6	SFA-5.29	NMs-X	...
6	SFA-5.30	IN5XX	...
6	SFA-5.30	IN3XX(X)	...
6	SFA-5.30		...

Continuación de anexo 3.

F-No.	ESPECIFICACION ASME	CLASIFICACIÓN AWS	No. UNS
ALUMINIO Y ALEACIONES DE ALUMINIO			
21	SFA-5.3	E1100	A91100
21	SFA-5.3	E3003	A93003
21	SFA-5.10	ER1100	A91100
21	SFA-5.10	ER1188	A91188
21	SFA-5.10	R1100	A91100
21	SFA-5.10	R1188	A91188
22	SFA-5.10	ER5183	A95183
22	SFA-5.10	ER5356	A95356
22	SFA-5.10	ER5554	A95554
22	SFA-5.10	ER5556	A95556
22	SFA-5.10	ER5654	A95654
22	SFA-5.10	R5183	A95183
22	SFA-5.10	R5356	A95356
22	SFA-5.10	R5554	A95554
22	SFA-5.10	R5556	A95556
22	SFA-5.10	R5654	A95654
23	SFA-5.3	E4043	A94043
23	SFA-5.10	ER4009	A94009
23	SFA-5.10	ER4010	A94010
23	SFA-5.10	ER4043	A94043
23	SFA-5.10	ER4047	A94047
23	SFA-5.10	ER4145	A94145
23	SFA-5.10	ER4643	A94643
23	SFA-5.10	R4009	A94009
23	SFA-5.10	R4010	A94010
23	SFA-5.10	R4011	A94011
23	SFA-5.10	R4043	A94043
23	SFA-5.10	R4047	A94047
23	SFA-5.10	R4145	A94145
23	SFA-5.10	R4643	A94643
24	SFA-5.10	R-A356.0	A13560
24	SFA-5.10	R-A357.0	A13570
24	SFA-5.10	R-C355.0	A33550
24	SFA-5.10	R206.0	A02060
24	SFA-5.10	R357.0	A03570
25	SFA-5.10	ER2319	A92319
25	SFA-5.10	R2319	A92319
COBRE Y ALEACIONES DE COBRE			
31	SFA-5.6	Ecu	W60189
31	SFA-5.6	ERCu	C18980
32	SFA-5.7	ECuSi	W60656
32	SFA-5.7	ERCuSi-A	C65600
33	SFA-5.6	ECuSn-A	W60518
33	SFA-5.6	ECuSn-C	W60521
33	SFA-5.7	ERCuSn-A	WC51800
34	SFA-5.6	ECuNi	W60717
34	SFA-5.7	ERCuNi	C71580
34	SFA-5.30	IN67	C71581
35	SFA-5.8	RBCuZn-A	C47000
35	SFA-5.8	RBCuZn-B	C68000
35	SFA-5.8	RBCuZn-C	C68100
35	SFA-5.8	RBCuZn-D	C77300
36	SFA-5.6	ECuAl-A2	W60614
36	SFA-5.6	ECuAl-B	W60619
36	SFA-5.7	ERCuAl-A1	C61000
36	SFA-5.7	ERCuAl-A2	C61800
36	SFA-5.7	ERCuAl-A3	C62400

Continuación del anexo 3.

F-No.	ESPECIFICACION ASME	CLASIFICACIÓN AWS	No. UNS
COBRE Y ALEACIONES DE COBRE (CONTINUACION)			
37	SFA-5.6	ECuMnNiAl	C60633
37	SFA-5.6	ECuNiAl	C60632
37	SFA-5.7	ERCuMnNiAl	C63380
37	SFA-5.7	ERCuNiAl	C63280
NIQUEL Y ALEACIONES DE NIQUEL			
41	SFA-5.11	ENi-1	W82141
41	SFA-5.14	ERNi-1	N02061
41	SFA-5.30	IN61	N02061
42	SFA-5.11	ENiCu-7	W84190
42	SFA-5.14	ERNiCu-7	N04060
42	SFA-5.14	ERNiCu-8	N05504
42	SFA-5.30	IN60	N04060
43	SFA-5.11	ENiCr-4	W8617
43	SFA-5.11	ENiCrCoMo-1	W86117
43	SFA-5.11	ENiCrFe-1	W86132
43	SFA-5.11	ENiCrFe-2	W86133
43	SFA-5.11	ENiCrFe-3	W86182
43	SFA-5.11	ENiCrFe-4	W86134
43	SFA-5.11	ENiCrFe-7	W86152
43	SFA-5.11	ENiCrFe-9	W86094
43	SFA-5.11	ENiCrFe-10	W86095
43	SFA-5.11	ENiCrFe-12	W86025
43	SFA-5.11	ENiCrMo-2	W86002
43	SFA-5.11	ENiCrMo-3	W86112
43	SFA-5.11	ENiCrMo-4	W80276
43	SFA-5.11	ENiCrMo-5	W80002
43	SFA-5.11	ENiCrMo-6	W86620
43	SFA-5.11	ENiCrMo-7	W86455
43	SFA-5.11	ENiCrMo-10	W86022
43	SFA-5.11	ENiCrMo-12	W86032
43	SFA-5.11	ENiCrMo-13	W86059
43	SFA-5.11	ENiCrMo-14	W86026
43	SFA-5.11	ENiCrMo-17	W86200
43	SFA-5.11	ENiCrMo-18	W86650
43	SFA-5.11	ENiCrMo-19	W86058
43	SFA-5.11	ENiCrWMo-1	W86231
43	SFA-5.14	ERNiCr-3	N06082
43	SFA-5.14	ERNiCr-4	N07072
43	SFA-5.14	ERNiCr-6	N06076
43	SFA-5.14	ERNiCrCoMo-1	N06617
43	SFA-5.14	ERNiCrFr-5	N06062
43	SFA-5.14	ERNiCrFr-6	N07092

Continuación del anexo 3.

F No.	ESPECIFICACION ASME	CLASIFICACIÓN AWS	No. UNS
NIQUEL Y ALEACIONES DE NIQUEL(CONTINUACION)			
43	SFA-5.14	ERNiCrFe-7	N06052
43	SFA-5.14	ERNiCrFe-7A	N06054
43	SFA-5.14	ERNiCrFe-8	N07069
43	SFA-5.14	ERNiCrFe-11	N06601
43	SFA-5.14	ERNiCrFe-12	N06025
43	SFA-5.14	ERNiCrFeAl-1	N06693
43	SFA-5.14	ERNiCrMo-2	N06002
43	SFA-5.14	ERNiCrMo-3	N06625
43	SFA-5.14	ERNiCrMo-4	N10276
43	SFA-5.14	ERNiCrMo-7	N06455
43	SFA-5.14	ERNiCrMo-10	N06022
43	SFA-5.14	ERNiCrMo-13	N06059
43	SFA-5.14	ERNiCrMo-14	N06686
43	SFA-5.14	ERNiCrMo-16	N06057
43	SFA-5.14	ERNiCrMo-17	N06200
43	SFA-5.14	ERNiCrMo-18	N06650
43	SFA-5.14	ERNiCrMo-19	N07058
43	SFA-5.14	ERNiCrMo-20	N06660
43	SFA-5.14	ERNiCrMo-21	N06205
43	SFA-5.14	ERNiCrWMo-1	N06231
43	SFA-5.30	IN52	N06052
43	SFA-5.30	IN62	N06062
43	SFA-5.30	IN6A	N06082
43	SFA-5.30	IN82	N07092
44	SFA-5.11	ENiMo-1	W80001
44	SFA-5.11	ENiMo-3	W80004
44	SFA-5.11	ENiMo-7	W80665
44	SFA-5.11	ENiMo-8	W80008
44	SFA-5.11	ENiMo-9	W80009
44	SFA-5.11	ENiMo-10	W80675
44	SFA-5.11	ENiMo-11	W80675
44	SFA-5.14	ERNiMo-1	N10001
44	SFA-5.14	ERNiMo-2	N10003
44	SFA-5.14	ERNiMo-3	N10004
44	SFA-5.14	ERNiMo-7	N10665
44	SFA-5.14	ERNiMo-8	N10008
44	SFA-5.14	ERNiMo-9	N10009
44	SFA-5.14	ERNiMo-10	N10675
44	SFA-5.14	ERNiMo-11	N10629
44	SFA-5.14	ERNiMo-12	N10242
45	SFA-5.11	ENiCrMo-1	W86007
45	SFA-5.11	ENiCrMo -9	W86985
45	SFA-5.11	ENiCrMo-11	W86030
45	SFA-5.14	ERNiCrMo-1	N06007
45	SFA-5.14	ERNiCrMo-8	N06975
45	SFA-5.14	ERNiCrMo-9	N06985
45	SFA-5.14	ERNiCrMo-11	N06030
45	SFA-5.14	ERNiFeCr-1	N08065
46	SFA-5.11	ENiCrFrSi-1	W86045
46	SFA-5.14	ERNiCrFeSi-1	N06045
46	SFA-5.14	ERNiCoCrSi-1	N12160

Continuación del anexo 3.

F No.	ESPECIFICACION ASME	CLASIFICACIÓN AWS	No. UNS
TITANIO Y ALEACIONES DE TITANIO			
51	SFA-5.16	ERTi-1	R50100
51	SFA-5.16	ERTi-11	R52251
51	SFA-5.16	ERTi-13	R53423
51	SFA-5.16	ERTi-17	R52253
51	SFA-5.16	ERTi-27	R52255
51	SFA-5.16	ERTi-2	R50120
51	SFA-5.16	ERTi-7	R52401
51	SFA-5.16	ERTi-14	R53424
51	SFA-5.16	ERTi-16	R52403
51	SFA-5.16	ERTi-26	R52405
51	SFA-5.16	ERTi-30	R53531
51	SFA-5.16	ERTi-33	R53443
51	SFA-5.16	ERTi-3	R50125
51	SFA-5.16	ERTi-15A	R53416
51	SFA-5.16	ERTi-31	R53533
51	SFA-5.16	ERTi-34	R53444
52	SFA-5.16	ERTi-4	R50130
53	SFA-5.16	ERTi-9	R56320
53	SFA-5.16	ERTi-9ELI	R56321
53	SFA-5.16	ERTi-18	R56326
53	SFA-5.16	ERTi-28	R56324
54	SFA-5.16	ERTi-12	R53400
55	SFA-5.16	ERTi-5	R56400
55	SFA-5.16	ERTi-23	R56408
55	SFA-5.16	ERTi-29	R56414
55	SFA-5.16	ERTi-24	R56415
55	SFA-5.16	ERTi-25	R56413
56	SFA-5.16	ERTi-32	R55112
ZIRCONIO Y ALEACIONES DE ZIRCONIO			
61	SFA-5.24	ERZr2	R60702
61	SFA-5.24	ERZr3	R60704
61	SFA-5.24	ERZr4	R60705
CAPA SUPERFICIAL DE METAL DE SOLDADURA DE RECUBRIMIENTO DURO			
71	SFA-5.13	ECoCr-A	W73006
71	SFA-5.13	ECoCr-B	W73012
71	SFA-5.13	ECoCr-C	W73001
71	SFA-5.13	ECoCr-E	W73021
71	SFA-5.13	ECuAl-A2	W60617
71	SFA-5.13	ECuAl-B	W60619
71	SFA-5.13	ECuAl-C	W60625
71	SFA-5.13	ECuAl-D	W61625
71	SFA-5.13	ECuAl-E	W62625
71	SFA-5.13	ECuMnNiAl	W60633
71	SFA-5.13	ECuNi	W60715
71	SFA-5.13	ECuNiAl	W60632
71	SFA-5.13	ECuSi	W60656
71	SFA-5.13	ECuSn-A	W60518
71	SFA-5.13	ECuSn-C	W60521
71	SFA-5.13	EFe1	W74001

Continuación del anexo 3.

F- No	ESPECIFICACION ASME	CLASIFICACIÓN AWS	No. UNS
CAPA SUPERFICIAL DE METAL DE SOLDADURA DE RECUBRIMIENTO DURO CONTINUACION			
71	SFA-5.13	EFe2	W74002
71	SFA-5.13	EFe3	W74003
71	SFA-5.13	EFe4	W74004
71	SFA-5.13	EFe5	W75110
71	SFA-5.13	EFe6	W77510
71	SFA-5.13	EFe7	W77610
71	SFA-5.13	EFeCr-A1A	W74011
71	SFA-5.13	EFeCr-A2	W74012
71	SFA-5.13	EFeCr-A3	W74013
71	SFA-5.13	EFeCr-A4	W74014
71	SFA-5.13	EFeCr-A5	W74015
71	SFA-5.13	EFeCr-A6	W74016
71	SFA-5.13	EFeCr-A7	W74017
71	SFA-5.13	EFeCr-A8	W74018
71	SFA-5.13	EFeCr-E1	W74211
71	SFA-5.13	EFeCr-E2	W74212
71	SFA-5.13	EFeCr-E3	W74213
71	SFA-5.13	EFeCr-E4	W74214
71	SFA-5.13	EFeMn-A	W79110
71	SFA-5.13	EFeMn-B	W79310
71	SFA-5.13	EFeMn-C	W79210
71	SFA-5.13	EFeMn-D	W79410
71	SFA-5.13	EFeMn-E	W79510
71	SFA-5.13	EFeMn-F	W79610
71	SFA-5.13	EFeMnCr	W79710
71	SFA-5.13	ENiCr-C	W89606
71	SFA-5.13	ENiCrFeCo	W83002
71	SFA-5.13	ENiCrMo-5A	W80002
71	SFA-5.13	EWCX-12/30	...
71	SFA-5.13	EWCX-20/30	...
71	SFA-5.13	EWCX-30/40	...
71	SFA-5.13	EWCX-40	...
71	SFA-5.13	EWCX-40/120	...
72	SFA-5.21	ERCCoCr-A	W73036
72	SFA-5.21	ERCCoCr-B	W73042
72	SFA-5.21	ERCCoCr-C	W73031
72	SFA-5.21	ERCCoCr-E	W73041
72	SFA-5.21	ERCCoCr-G	W73032
72	SFA-5.21	ERCCuAl-A2	W60618
72	SFA-5.21	ERCCuAl-A3	W60624
72	SFA-5.21	ERCCuAl-C	W60626
72	SFA-5.21	ERCCuAl-D	W61626
72	SFA-5.21	ERCCuAl-E	W62626
72	SFA-5.21	ERCCuSi-A	W60657
72	SFA-5.21	ERCCuSn-A	W60518
72	SFA-5.21	ERCCuSn-D	W60524
72	SFA-5.21	ERCFE-1	W74030
72	SFA-5.21	ERCFE-1A	W74031
72	SFA-5.21	ERCFE-2	W74032
72	SFA-5.21	ERCFE-3	W74033
72	SFA-5.21	ERCFE-5	W74035

Continuación del anexo 3.

F- No	ESPECIFICACION ASME	CLASIFICACIÓN AWS	No. UNS
CAPA SUPERFICIAL DE METAL DE SOLDADURA DE RECUBRIMIENTO DURO CONTINUACION			
72	SFA-5.21	ERCFe-6	W77530
72	SFA-5.21	ERCFe-8	W77538
72	SFA-5.21	ERCFe-8	W74531
72	SFA-5.21	ERCFeCr-A	W74530
72	SFA-5.21	ERCFeCr-A1A	W74533
72	SFA-5.21	ERCFeCr-A3A	W74534
72	SFA-5.21	ERCFeCr-A4	W74535
72	SFA-5.21	ERCFeCr-A5	W74539
72	SFA-5.21	ERCFeCr-A9	W74540
72	SFA-5.21	ERCFeCr-A10	W79230
72	SFA-5.21	ERCFeMn-C	W79630
72	SFA-5.21	ERCFeMn-F	W79231
72	SFA-5.21	ERCFeMn-G	W79232
72	SFA-5.21	ERCFeMn-H	W79730
72	SFA-5.21	ERCFeMnCr	W89634
72	SFA-5.21	ERCNiCr-A	W89635
72	SFA-5.21	ERCNiCr-B	W89636
72	SFA-5.21	ERCNiCr-C	W83032
72	SFA-5.21	ERCNiCrFeCo	W80036
72	SFA-5.21	ERCNiCrMo-5A	R30006
72	SFA-5.21	ERCoCr-A	R30012
72	SFA-5.21	ERCoCr-B	R30001
72	SFA-5.21	ERCoCr-C	R30021
72	SFA-5.21	ERCoCr-E	R30002
72	SFA-5.21	ERCoCr-F	R30014
72	SFA-5.21	ERCoCr-G	C61800
72	SFA-5.21	ERCuAl-A2	C62400
72	SFA-5.21	ERCuAl-A3	C62580
72	SFA-5.21	ERCuAl-C	C62581
72	SFA-5.21	ERCuAl-D	C62582
72	SFA-5.21	ERCuAl-E	C65600
72	SFA-5.21	ERCuSi-A	C51800
72	SFA-5.21	ERCuSn-A	C52400
72	SFA-5.21	ERCuSn-D	T74000
72	SFA-5.21	ERFe-1	T74001
72	SFA-5.21	ERFe-1A	T74002
72	SFA-5.21	ERFe-2	T74003
72	SFA-5.21	ERFe-3	T74005
72	SFA-5.21	ERFe-5	T74006
72	SFA-5.21	ERFe-6	T74008
72	SFA-5.21	ERFe-8	...
72	SFA-5.21	ERFeC	...
72	SFA-5.21	ERFeCr-A1A	...
72	SFA-5.21	ERFeCr-A3A	...
72	SFA-5.21	ERFeCr-A4	...
72	SFA-5.21	ERFeCr-A5	...
72	SFA-5.21	ERFeCr-A9	...
72	SFA-5.21	ERFeCr-A10	...
72	SFA-5.21	ERFeMn-C	...
72	SFA-5.21	ERFeMn-F	...
72	SFA-5.21	ERFeMn-G	...
72	SFA-5.21	ERFeMn-H	...

Continuación del anexo 3.

F- No	ESPECIFICACION ASME	CLASIFICACIÓN AWS	No. UNS
CAPA SUPERFICIAL DE METAL DE SOLDADURA DE RECUBRIMIENTO DURO, CONTINUACION			
72	SFA-5.21	ERFeMnCr	...
72	SFA-5.21	ERNiCr-A	N99644
72	SFA-5.21	ERNiCr-B	N99645
72	SFA-5.21	ERNiCr-C	N99646
72	SFA-5.21	ERNiCr-D	N99647
72	SFA-5.21	ERNiCr-E	N99648
72	SFA-5.21	ERNiCrFeCo	F46100
72	SFA-5.21	ERNiCrMo-5A	N10006
72	SFA-5.21	ERWCX-20/30	...
72	SFA-5.21	ERWCX-30/40	...
72	SFA-5.21	ERWCX-40	...
72	SFA-5.21	ERWCX-40/120	...
72	SFA-5.21	RWCX-20/30	...
72	SFA-5.21	RWCX-30/40	...
72	SFA-5.21	SFA-5.21 RWCX-40	...
72	SFA-5.21	SFA-5.21 RWCX-40/120	...

Fuente: ASME 2010, Sección IX Calificación de procedimientos de soldadura y uniones fuertes, soldadores, brazer y de operadores de soldadura y uniones fuertes, Tabla QW- 432.

Anexo 4. Tipos de posiciones y calificaciones de soldadura

Test de cualificación			Test de cualificación			Cualifica para:			
Chapas en rincón			Tubo con preparación			soldadura con preparación de chaflán		soldaduras en rincón	
Posición	Chapa	Tubo	Posición	Chapa	Tubo	Chapa	Tubo	Chapa	Tubo
1F	1F	1F	1G	1G	1G	1F	1F	1F	1F
2F	1F, 2F	1F, 2F, 2FR	2G	1G, 2G	1G, 2G	1F, 2F	1G	1F, 2F	1F, 2F
3F	1F, 2F, 3F	1F, 2F, 2FR,	3G	1G, 3G	1G, 5G	1F, 2F, 3F	1G, 2G	1F, 2F, 3F, 4F	1F, 2F
4F	1F, 2F, 4F	1F, 2F, 2FR, 4F	4G	1G, 4G	1G, 3G, 4G	1F, 2F, 4F	1G, 5G	Todas	Todas
3F+4F	Todas	Todas			6G+6GR	Todas	Todas	Todas	Todas
1F	1F	1F	1G	1G	5G	Todas	Todas	Todas	Todas
2F	1F, 2F	1F, 2F, 2FR	2G	1G, 2G	6G+6GR	Todas	Todas	Todas	Todas
2FR	1F, 2F	1F, 2FR,	3G	1G, 3G	2G+5G	Todas	Todas	Todas	Todas
4F	1F, 2F, 4F	1F, 2F, 2FR, 4F	4G	1G, 4G					
5F	Todas	Todas							

Fuente: OXGASA, Manual de soldador. p. 07.

Anexo 5. Especificaciones de procedimiento de soldadura, para tubería de vapor de escape



ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

(Sección IX, Código ASME Calderas y Recipientes presurizados)

Compañía: PSMI S.A. Especificación del procedimiento de soldadura No. PSMI-StaANA-SMAW-GMAW-02-13
 Rev. 00 Fecha: 15 de Abril del 2013.
 Soportado por PQR No.: PQR-PSMI-ChStaAna-B-U2-GF-04-12 Rev. 02 Fecha: 15 de Octubre de 2012
 Proceso de soldadura: GAS METAL ARC WELDING (GMAW) & SHIELDED METAL ARC WELDING (SMAW)
 Tipo (Manual, Automática, Semi-Auto): Semi-Auto & Manual

Unión			
Diseño de la Unión: <u>tee</u>			
Respaldo (sí) _____ (no) <u>X</u> _____	<input type="checkbox"/> Metal	<input type="checkbox"/> No fusiona	
Material del respaldo (Tipo) <u>N.A.</u>	<input type="checkbox"/> Elemento no metálico	<input type="checkbox"/> Otros	
<small>(Referencia a otros respaldos y retanados)</small>			
DETALLES			
$t = 3/16'' \text{ a } 1/4''$			
METAL BASE			
P No. 1	Grupo No. 1	a P No. 1	Grupo No. 1
O			
Tipo, especificación y grado:		ASTM A-36	
A tipo, especificación y grado:		ASTM A-36	
Análisis químico o propiedades mecánicas: N.A.			
a análisis químico o propiedades mecánicas: N.A.			
Rango de espesores: 3/16" a 1 1/4"			
Metal Base:	Bisel: 3/16" a 1 1/4"	Filete: Ilimitado	
Rango de diámetros de tubería: N.A.	Bisel: N.A.	Filete: N.A.	
Otros: de 3/16" en lámina a espesor de 1 1/4"			
METAL DE APORTE			
Spec. No. (SFA)	GMAW 5.18 & SMAW 5.1		
AWS No. (Class)	GMAW ER70S-6 & SMAW E-7018		
F- No.	GMAW 6 & SMAW 4		
A No.	GMAW 1 & SMAW 1		
Diámetro del metal de aporte:	GMAW 0.045" & SMAW 1/8"		
METAL DE SOLDADURA			
Rango de espesor:	Bisel	GMAW & SMAW Como sea requerido	
	Filete	GMAW & SMAW Como sea requerido	
Fundente-Electrodo (Clasificación)	N.A.		
Nombre Comercial del Fundente	N.A.		
Inserto Consumible	N.A.		
Otros	N.A.		

Continuación del anexo 5.



WPS PSMI-StdANA-SMAW-GMAW-02-13

POSICION DE LA SOLDADURA		TRATAMIENTO TERMICO POST SOLDADURA						
Posición del bisel	1G, 2G, 3G, 4G	Rango de temperatura: N. A.						
Avance de la soldadura vert.	Ascendente	Rango del tiempo: N. A.						
PRECALENTAMIENTO		GAS						
Mínima temperatura de precalentamiento.	149 °F	PORCENTAJE DE LA COMPOSICION						
Máxima temperatura entre pases.	230 ° F		Gas	Mezcla	Rata de flujo			
Mantenimiento del calor	Continuo	Proteccion	CO2	100%	30-50 CFH			
		Avance	N. A.	N. A.	N. A.			
		Respaldo	N. A.	N. A.	N. A.			
CARACTERISTICAS ELECTRICAS								
Corriente AC o DC:	DC	Polaridad: ELECTRODO POSITIVO (+)						
Amps (rango)	GMAW 80 : 175 & SMAW 90 : 140	Volts: GMAW 18 : 22 & SMAW 22 : 25						
Tipo y tamaño del electrodo de tungsteno: N. A.								
Modo de transferencia del metal en GMAW: Corto Circuito								
Rango de velocidad del alimentador de alambre: 5 a 10 ppm								
TECNICA								
Con oscilación o sin oscilación: Con oscilación								
Tamaño de la boquilla del orificio del Gas: N. A.								
Limpieza inicial y entre pases (Esmerilado, Cepillado, etc.): Esmerilado y Cepillado								
Método de pulido posterior: Pulidora o Arco Aire								
Oscilación: 3/16"								
Distancia de la maquina hasta el punto de trabajo: Hasta 20 m.								
Múltiple o simple pase (por lado) Lado Externo Múltiple y Lado Interno Simple								
Rango de velocidad de avance: 1 : 5 ppm								
Martillado: prohibido								
Otros: N. A.								
Pases de soldadura	Proceso	METAL DE APORTE		CORRIENTE			OTROS	
		Clase	Diametro	Tipo de polaridad	Rango de amperaje	Rango de voltaje		Rango de velocidad de avance
No. 1	GMAW	ER70S-6	0.045"	DC (+)	80 : 175	18 : 22	2.5:5 ppm	Lado externo, pase de raíz
No. 2	GMAW	ER70S-6	0.045"	DC (+)	80 : 175	18 : 22	2.5:5 ppm	Lado externo, pase caliente
No. 3	GMAW	ER70S-6	0.045"	DC (+)	80 : 175	18 : 22	2.5:5 ppm	Lado externo, pase de relleno
No. 4	GMAW	ER70S-6	0.045"	DC (+)	80 : 175	18 : 22	2.5:5 ppm	Lado externo, pase de presentación
No. 5	SMAW	E-7018	1/8"	DC (+)	90 : 140	20 : 25	1:1.5 ppm	Lado interno, pulir y hacer bisel hasta encontrar el material de aporte de la raíz externa y aplicar pase de presentación

Fuente: archivo TESTING S. A.

Anexo 6. **Calificación de procedimiento de soldadura, para tubería de vapor de escape**



RECORD DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR)

(Ver QW-200.2, Sección IX, ASME Código de Calderas y Recipientes Presurizados)

Record de condiciones actuales usadas en el cupón de prueba.

Nombre de la Compañía: PSMI S.A.

Record de Calificación de Procedimiento No. PQR-PSMI-ChStaAna-B-U2-GF-04-12 Rev.: 02

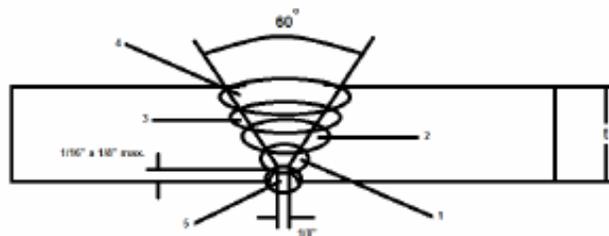
Fecha: 15 de Octubre de 2012

WPS No. PSMI-ChStaAna-B-U2-GF-04-12 Rev. 03

Proceso de Soldadura: GAS METAL ARC WELDING (GMAW) & SHIELDED METAL ARC WELDING (SMAW)

Tipo (Manual, Automática, Semi-Auto): Semi-Auto & Manual

JUNTA



Diseño del bisel para prueba de calificación

(Para calificaciones combinadas, el espesor de metal de soldadura depositado deberá de ser anotado para cada metal de aporte o proceso utilizado)

METAL BASE		TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA		
Especificación del Material:	ASTM A-36	Temperatura:	N. A.	
Tipo o Grado:	ASTM A-36	Tiempo:	N. A.	
P. No. 1 to P. No. 1		Otros:	N. A.	
Espesor del Cupón de Prueba:	5/8"			
Diametro del Cupón de Prueba:	N. A.			
Otros:	N. A.			
		GAS		
		Porcentaje de Composición		
		Gas(es)	Mezcla	Rango de Flujo
		Protección	CO2	100%
		Avance	N. A.	N. A.
		Respaldo	N. A.	N. A.
			N. A.	N. A.
MATERIAL DE APORTE		CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS		
Especificación SFA	5.18 & 5.1	Corriente	DC	
Clasificación AWS	ER70S-6 & E-7018	Polaridad	EP	
Metal de Aporte F No.	6 & 4	Amps.	128 & 113	Volts. 20 & 22.5
Análisis Metal de Soldadura A No.	1 & 1	Tamaño Electrodo Tungsteno	N. A.	
Tamaño del Material de Aporte	0.045 & 1/8"	Otros	N. A.	
Otros	N. A.			
		TÉCNICA		
Posición del Bisel	3G	Velocidad Avance	1.75 : 3.25 ppm	
Progresión de la Soldadura	Ascendente	Esmerilado y/o Cepillado	Ambos	
Otros	N. A.	Oscilación	SI	
PRECALENTAMIENTO		Simple o Múltiples Pases:	Multiple	
Temperatura Precalentamiento	149 °F	Otros	N. A.	
Temperatura entre Pases	230 °F			
Otros	N. A.			

Continuación del anexo 6.



PQR No. PQR-PSMI-ChStaAna-B-U2-GF-04-12 REV 02

Prueba de Tensión

Prueba No.	Ancho (pulgadas)	Espesor (pulgadas)	Área (pulgadas cuadradas)	Carga Última (lb.)	Esfuerzo Último (psi)	Tipo de Falla y Localización
T1 Raíz	0.5968	0.3811	0.2273	18,539	81,503	Material Base
T2 Raíz	0.5700	0.3960	0.2258	18,517	82,009	Material Base
T1 Cara	0.8858	0.3889	0.3445	27,148	78,788	Material Base
T2 Cara	0.8996	0.4000	0.3599	28,012	77,845	Material Base

Prueba de Doble

Tipo y Figura No.	Resultado
Doble de Cara	OK
Doble de Cara	OK
Doble de Raíz	OK
Doble de Raíz	OK

Prueba de Dureza

Prueba No.	Ubicación Marca	Tipo Marca	Temperatura Prueba	Valores Impacto	Exp. Lateral		Peso Munición	
					% Shear	Mils	Quebradura	No Quebradura
NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Prueba de Soldadura de Filete

Resultado Satisfactorio: (SI) NA (No) NA Penetración Dentro de Metal Adyacente: (SI) NA (No) NA
 Resultados Macroataque: _____

Otras Pruebas

Tipo de Prueba N.A.
 Análisis de N.A.
 Deposito _____
 Otras NA

Nombre Soldador Emilio de Jesús Bian Casuy Identificación OPR 2431175740 501 Código No. 138

Prueba Conducida por Ing. Enrique Gálvez Reporte Laboratorio No. CIFA-289A & TESTING 013-12

Nosotros certificamos que los datos en este record son correctos y que la soldadura de prueba fue preparada, soldada y analizada de acuerdo con los requerimientos de la Sección IX del Código ASME.

Fabricante PSMI S.A.

Fecha 15-10-2012 Por Ing. Enrique Gálvez

Fuente: archivo TESTING S. A.

Anexo 7. **Constantes A_2 , D_1 , D_3 , D_4 y d_2 , utilizados en la construcción de graficas de control**

Tamaño de la muestra, n	Carta \bar{X}	Carta R		Estimación de σ
	A_2	D_3	D_4	d_2
2	1.880	0	3.267	1.128
3	1.023	0	2.575	1.693
4	0.729	0	2.282	2.059
5	0.577	0	2.115	2.326
6	0.483	0	2.004	2.534
7	0.419	0.076	1.924	2.704
8	0.373	0.136	1.864	2.847
9	0.337	0.184	1.816	2.970
10	0.308	0.223	1.777	3.078
11	0.285	0.256	1.744	3.173
12	0.266	0.283	1.717	3.258
13	0.249	0.307	1.693	3.336
14	0.235	0.328	1.672	3.407
15	0.223	0.347	1.653	3.472
16	0.212	0.363	1.637	3.532
17	0.203	0.378	1.622	3.588
18	0.194	0.391	1.608	3.640
19	0.187	0.403	1.597	3.689
20	0.180	0.415	1.585	3.735
25	0.153	0.459	1.541	3.931

Fuente: Gutiérrez Pulido, Humberto. Calidad total y productividad. p. 387.

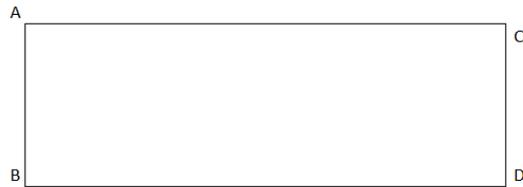
Anexo 8. Formatos creados para el control de calidad en la fabricación armado y aplicaciones de soldadura de tubería de vapor de escape

REGISTRO DEL ESCUADRADO Y MEDIDAS DE LAS LAMINAS PARA TUBERIA

FECHA _____

IDENTIFICACION DE TUBO:

DESCRIPCION DE TUBO:



Lamina	A-C	B-D	A-D	B-C	A-B	C-D
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
Total de largo						

Firma del Encargado _____

Fuente: elaboración propia.

Anexo 9. Reporte de inspeccion de campo

REPORTE DE INSPECCIÓN DE CAMPO

HOJA ____/____

VISITA No. _____ PARA: _____ DE: _____ FIRMA: _____

LUGAR: _____

FECHA: _____

PROYECTO: _____

MATERIAL BASE: _____

PROCESO DE SOLDADURA: _____

MATERIAL DE APORTE: _____

ID. WPS: _____

ID PIEZA: _____					
VT-PIEZA	INICIAL()	R1 ()	R2 ()	R3 ()	LIBERADO

Observaciones

Fuente: elaboración propia.

Anexo 10. Reporte de inspeccion de ultrasonido

REPORTE DE INSPECCIÓN DE ULTRASONIDO

HOJA ____ / ____

VISITA No. ____ PARA: _____ DE: _____ FIRMA: _____

LUGAR: _____

FECHA: _____

PROYECTO: _____

MATERIAL BASE: _____

PROCESO DE SOLDADURA: _____

MATERIAL DE APORTE: _____

ID. WPS: _____

CODIGO DE REFERENCIA: _____

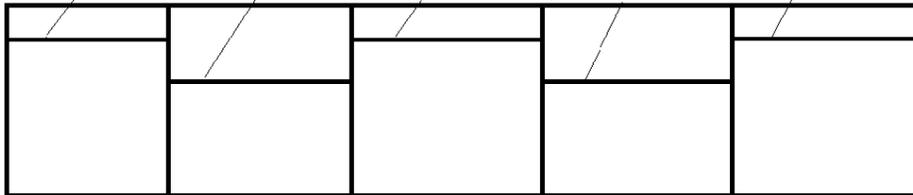
ID PIEZA:					
VT	INICIAL()	R1 ()	R2 ()	R3 ()	LIBERADO
Observaciones					

END					
TIPO: _____					
% INSPECCIÓN: _____					
RESULTADO	INICIAL()	R1 ()	R2 ()	R3 ()	LIBERADO
Observaciones					

TIPO: _____					
% INSPECCIÓN: _____					
RESULTADO	INICIAL()	R1 ()	R2 ()	R3 ()	LIBERADO
Observaciones					

TIPO: _____					
% INSPECCIÓN: _____					
RESULTADO	INICIAL()	R1 ()	R2 ()	R3 ()	LIBERADO
Observaciones					

Longitudinal No.: _____ Longitudinal No.: _____ Longitudinal No.: _____ Longitudinal No.: _____ Longitudinal No.: _____
 Clave Soldador: _____ Clave Soldador: _____ Clave Soldador: _____ Clave Soldador: _____ Clave Soldador: _____
 Proceso: _____ Proceso: _____ Proceso: _____ Proceso: _____ Proceso: _____



Junta No.: _____ Junta No.: _____ Junta No.: _____ Junta No.: _____
 Clave Soldador: _____ Clave Soldador: _____ Clave Soldador: _____ Clave Soldador: _____
 Proceso: _____ Proceso: _____ Proceso: _____ Proceso: _____

Fuente: elaboración propia.

Anexo 11. Reporte de inspeccion de ultrasonido

REPORTE DE INSPECCIÓN DE ULTRASONIDO

HOJA ____ / ____

VISITA No. _____ PARA: _____ DE: _____ FIRMA: _____

LUGAR: _____

FECHA: _____

PROYECTO: _____

MATERIAL BASE: _____

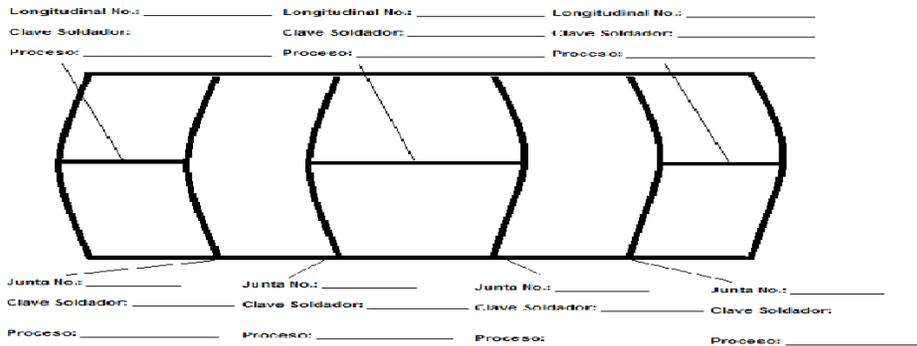
PROCESO DE SOLDADURA: _____

MATERIAL DE APORTE: _____

ID. WPS: _____

CODIGO DE REFERENCIA: _____

ID PIEZA:					
VT	INICIAL()	R1 ()	R2 ()	R3 ()	LIBERADO
Observaciones					
END					
TIPO: _____					
% INSPECCIÓN: _____					
RESULTADO	INICIAL()	R1 ()	R2 ()	R3 ()	LIBERADO
Observaciones					
TIPO: _____					
% INSPECCIÓN: _____					
RESULTADO	INICIAL()	R1 ()	R2 ()	R3 ()	LIBERADO
Observaciones					
TIPO: _____					
% INSPECCIÓN: _____					
RESULTADO	INICIAL()	R1 ()	R2 ()	R3 ()	LIBERADO
Observaciones					

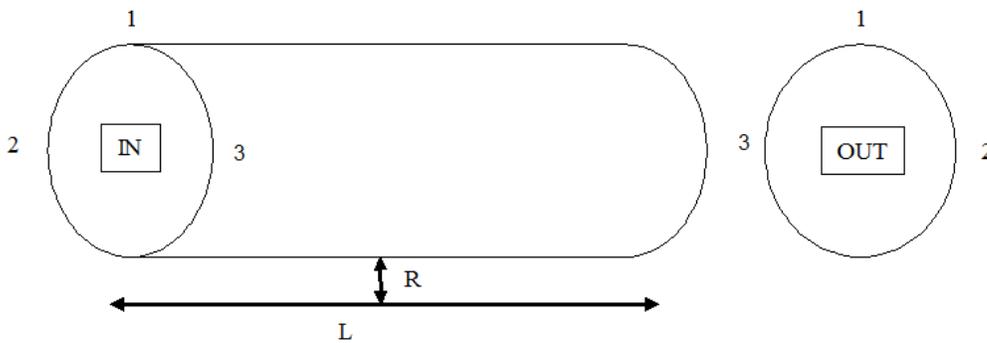


Fuente: elaboración propia.

Anexo 12. Registro geométrico de tubos

REGISTRÓ GEOMETRICO DE TUBOS

CLIENTE:			LUGAR:	
PROYECTO:			NORMA:	
CONSTRUCTOR:			IDENTIFICACIÓN TUBO:	
LARGO DE TUBO (L) :			DIAMETRO DE TUBO:	
No. De Estación:	Ubicación en grados (°):	Tolerancia ()	Condición Actual Diametro ()	Desviación ()
IN: 1	0			
IN: 2	90			
OUT: 1	0			
OUT: 2	90			
RECTITUD				
R-1:		R-2:	R-3:	



OBSERVACIONES	
Las medidas se realizan durante el transcurso de la mañana porque conforme sube la temperatura ambiental, la lámina sufre también dilatación. LAS MEDIDAS OBTENIDAS CUMPLEN LAS TOLERANCIAS DENTRO DE LA NORMA AWWA C-200	
INSPECTOR	FECHA Y FIRMA
SUPERVISOR DE CALIDAD	FIRMA

Fuente: elaboración propia.