



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

**“ANÁLISIS, DETERMINACIÓN, EVALUACIÓN Y  
PREVENCIÓN DE FALLAS POTENCIALES MEDIANTE  
LA TÉCNICA DE INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO EN  
BASE A LA NORMA ASTM E-797 EN LA LÍNEA DE  
VAPOR DE LA EMPRESA BIOALIMENTAR”**

**YUGCHA LLAMBO JOSÉ VICENTE  
PAULLÁN HUARACA VÍCTOR MARCELO**

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2013**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

2013-03-05

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**JOSÉ VICENTE YUGCHA LLAMBO**

---

Titulada:

**“ANÁLISIS, DETERMINACIÓN, EVALUACIÓN Y PREVENCIÓN DE  
FALLAS POTENCIALES MEDIANTE LA TÉCNICA DE INSPECCIÓN POR  
ULTRASONIDO EN BASE A LA NORMA ASTM E-797 EN LA LÍNEA DE  
VAPOR DE LA EMPRESA BIOALIMENTAR”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

---

Ing. Geovanny Novillo A.  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Fernando González  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Marco Almendariz  
ASESOR DE TESIS

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

2013-03-05

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**VÍCTOR MARCELO PAULLÁN HUARACA**

---

Titulada:

**“ANÁLISIS, DETERMINACIÓN, EVALUACIÓN Y PREVENCIÓN DE  
FALLAS POTENCIALES MEDIANTE LA TÉCNICA DE INSPECCIÓN POR  
ULTRASONIDO EN BASE A LA NORMA ASTM E-797 EN LA LÍNEA DE  
VAPOR DE LA EMPRESA BIOALIMENTAR”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

---

Ing. Geovanny Novillo A.  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Fernando González  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Marco Almendariz  
ASESOR DE TESIS

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** JOSÉ VICENTE YUGCHA LLAMBO

**TÍTULO DE LA TESIS:** “ANÁLISIS, DETERMINACIÓN, EVALUACIÓN Y PREVENCIÓN DE FALLAS POTENCIALES MEDIANTE LA TÉCNICA DE INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO EN BASE A LA NORMA ASTM E-797 EN LA LÍNEA DE VAPOR DE LA EMPRESA BIOALIMENTAR”

**Fecha de Examinación:** 2013-11-13

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Fernando González DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Marco Almendariz ASESOR			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Marco Santillán  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** VÍCTOR MARCELO PAULLÁN HUARACA

**TÍTULO DE LA TESIS:** “ANÁLISIS, DETERMINACIÓN, EVALUACIÓN Y PREVENCIÓN DE FALLAS POTENCIALES MEDIANTE LA TÉCNICA DE INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO EN BASE A LA NORMA ASTM E-797 EN LA LÍNEA DE VAPOR DE LA EMPRESA BIOALIMENTAR”

**Fecha de Examinación:** 2013-11-13

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Fernando González DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Marco Almendariz ASESOR			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Marco Santillán  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

José Vicente Yugcha Llambo

---

Víctor Marcelo Paullán Huaraca

## **DEDICATORIA**

Dedico en primer lugar a Dios quién me dio fuerza en todo momento, a mis padres que me supieron apoyar en todo instante estando a mi lado en los momentos buenos, malos y adversos de esta etapa y finalmente a mis profesores que supieron guiarme, enseñarme y ampliar mis conocimientos día tras día durante todo el lapso de la carrera.

**José Yugcha Llambo**

A Dios por darme la vida, a mí familia por ser mi guía y apoyo, a mis profesores y amigos.

**Víctor Paullán Huaraca**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por permitirnos culminar una etapa más de la vida, a nuestros padres por su apoyo incondicional, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por abrirnos las puertas para educarnos, a nuestros profesores y amigos que día a día fueron un apoyo incondicional.

Un agradecimiento especial al Ing. Fernando González, Ing. Marco Almendariz e Ing. Edgar Cevallos por formar parte fundamental en el desarrollo de la tesis.

A la Empresa Bioalimentar S.A. por abrirnos las puertas para la elaboración de la tesis. Especial reconocimiento al personal que labora en el área de mantenimiento por su contribución invaluable en la ejecución de la tesis.

**José Yugcha Llambo**

**Víctor Paullán Huaraca**

# CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación .....	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 <i>Objetivo general.</i> .....	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	2
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Mantenimiento industrial.....	4
2.1.1 <i>Mantenimiento correctivo.</i> .....	5
2.1.2 <i>Mantenimiento preventivo.</i> .....	5
2.1.2.1 <i>Mantenimiento de uso (m.u.s.)</i> .....	5
2.1.2.2 <i>Mantenimiento hard time (m.h.t.)</i> .....	5
2.1.2.3 <i>Mantenimiento on condition (m.o.c.)</i> .....	6
2.1.3 <i>Mantenimiento predictivo.</i> .....	6
2.2 Inspecciones no destructivas dentro del mantenimiento.....	6
2.2.1 <i>Objetivos</i> .....	7
2.2.2 <i>Método de ultrasonido.</i> .....	9
2.2.3 <i>Generalidades del ultrasonido.</i> .....	10
2.2.4 <i>Aplicación industrial.</i> .....	11
2.2.5 <i>Ventajas</i> .....	11
2.2.6 <i>Desventajas.</i> .....	12
2.2.7 <i>Las ondas ultrasónicas.</i> .....	12
2.2.8 <i>Características de las ondas ultrasónicas.</i> .....	13
2.2.8.1 <i>Período.</i> .....	13
2.2.8.2 <i>Frecuencia.</i> .....	13
2.2.8.3 <i>Longitud de onda.</i> .....	14
2.2.8.4 <i>Amplitud.</i> .....	14
2.2.8.5 <i>Velocidad acústica</i> .....	14
2.2.8.6 <i>Impedancia acústica</i> .....	14
2.2.8.7 <i>Presión acústica.</i> .....	14
2.2.8.8 <i>Intensidad acústica</i> .....	14
2.2.8.9 <i>Energía acústica.</i> .....	14
2.2.9 <i>Tipos de ondas y su aplicación.</i> .....	15
2.2.10 <i>Características del haz ultrasónico.</i> .....	15
2.2.11 <i>Velocidad del haz ultrasónico</i> .....	15
2.2.12 <i>Piezoelectricidad</i> .....	16
2.2.13 <i>Representación del eco en instrumentos de medición.</i> .....	16
2.2.14 <i>Métodos y técnicas de inspección ultrasónica.</i> .....	17
2.3 Normas aplicadas para la inspección y evaluación de las tuberías .....	18
2.3.1 <i>Norma ASTM E-797.</i> .....	18
2.3.1.1 <i>Alcance</i> .....	18
2.3.1.2 <i>Importancia y uso.</i> .....	18
2.3.1.3 <i>Procedimiento de inspección</i> .....	18
2.3.1.4 <i>Informe.</i> .....	19
2.3.2 <i>Norma ASME B31G.</i> .....	19
2.3.2.1 <i>Evaluación de tuberías según ASME B31G.</i> .....	19
2.3.2.2 <i>Determinación de la profundidad máxima de corrosión.</i> .....	20
2.3.2.3 <i>Evaluación de la longitud axial máxima permisible.</i> .....	20

2.3.2.4	<i>Evaluación de la máxima presión de operación permitida (MAOP)</i> .....	22
2.4	<i>Análisis de fallas funcionales</i> .....	25
2.4.1	<i>Función</i> .....	25
2.4.1.1	<i>Función primaria</i> .....	25
2.4.1.2	<i>Función secundaria</i> .....	26
2.4.1.3	<i>Funciones de protección</i> .....	27
2.4.1.4	<i>Función de control</i> .....	27
2.4.1.5	<i>Funciones subsidiaria</i> .....	28
2.4.2	<i>Falla funcional</i> .....	28
2.4.2.1	<i>Modos de una falla funcional</i> .....	28
2.4.2.2	<i>Efectos de un modo de falla funcional</i> .....	29
2.4.2.3	<i>Consecuencias de falla funcionales</i> .....	30
2.4.3	<i>Falla potencial</i> .....	32
2.4.3.1	<i>Prevención de fallas potenciales</i> .....	32
2.5	<i>Corrosión</i> .....	32
2.5.1	<i>Causa de la corrosión</i> .....	33
2.5.1.1	<i>Presencia de agua en un sistema de vapor</i> .....	33
2.5.1.2	<i>Oxígeno</i> .....	34
2.5.1.3	<i>Gases presente en el agua producto del ingreso del aire atmosférico</i> .....	34
2.5.1.4	<i>Presencia de pH en el fluido</i> .....	34
2.5.1.5	<i>Velocidad del fluido</i> .....	35
2.5.1.6	<i>Humedad atmosférica</i> .....	35
2.5.1.7	<i>Temperatura</i> .....	35
2.5.1.8	<i>Tipo de aleación del material</i> .....	35
2.5.2	<i>Formas de corrosión</i> .....	36
2.5.3	<i>Principales tipos de corrosión en una tubería de vapor</i> .....	36
2.5.3.1	<i>Corrosión atmosférica o uniforme</i> .....	36
2.5.3.2	<i>Corrosión por picaduras</i> .....	38
2.5.3.3	<i>Corrosión intergranular</i> .....	38
2.5.3.4	<i>Corrosión por cavitación</i> .....	39
2.5.3.5	<i>Erosión</i> .....	40
2.5.3.6	<i>Agrietamiento</i> .....	41
2.5.3.7	<i>Corrosión por fatiga</i> .....	42
2.6	<i>Reseña histórica de la empresa Bioalimentar</i> .....	42
2.7	<i>Misión y visión de la empresa</i> .....	42
2.8	<i>Relación Empresa – Universidad</i> .....	43
2.9	<i>Estructura organizacional del departamento de mantenimiento</i> .....	43
2.10	<i>Ubicación geográfica</i> .....	44

### **3. PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO**

3.1	<i>Requerimientos la inspección bajo la norma ASTM E-797</i> .....	46
3.1.1	<i>Personal</i> .....	46
3.1.2	<i>Determinación de la velocidad de inspección</i> .....	46
3.1.3	<i>Bloque de calibración</i> .....	47
3.1.4	<i>Palpador</i> .....	47
3.1.5	<i>Acoplante</i> .....	48
3.1.6	<i>Equipo de inspección para ultrasonido</i> .....	48
3.2	<i>Descripción del equipo de medición de espesores por ultrasonido 45MG</i> .....	49
3.2.1	<i>Instrucciones de funcionamiento del fabricante del instrumento</i> .....	49
3.2.2	<i>Teclado del equipo 45 MG</i> .....	49
3.2.3	<i>Primeros pasos que se deben realizar en el equipo</i> .....	51
3.2.3.1	<i>Encendido del equipo</i> .....	51
3.2.3.2	<i>Calibración de compensación del cero del palpador</i> .....	51
3.2.3.3	<i>Calibración de la velocidad de propagación del sonido en el material</i> .....	51

3.2.4	<i>Tipos de archivos que se pueden seleccionar en el equipo.</i>	52
3.2.4.1	<i>Archivo de tipo incremental.</i>	52
3.2.4.2	<i>Archivo tipo secuencial.</i>	53
3.2.4.3	<i>Archivo de tipo matriz 2D.</i>	53
3.2.4.4	<i>Archivo de tipo caldera</i>	53
3.2.5	<i>Pasos para crear un primer archivo</i>	54
3.2.6	<i>Software de medición GageView</i>	55
3.2.7	<i>Interfaz del software GageView</i>	55
3.2.8	<i>Instalación de software en Pc.</i>	56
3.2.9	<i>Diseño y presentación.</i>	56
3.2.9.1	<i>Proceso para el análisis de espesores en software GageView</i>	58
3.2.10	<i>Generación de informes en base al software GageView</i>	60
3.2.10.1	<i>Dataset Summary.</i>	60
3.2.10.2	<i>B – Scan.</i>	60
3.2.10.3	<i>BSCAN Review.</i>	61
3.2.10.4	<i>45MG_Statistics.</i>	62
3.2.11	<i>Reporte.</i>	62
3.3	<i>Selección de la técnica y método ultrasónico a utilizar</i>	63
3.3.1	<i>Técnica de ultrasonido a emplearse.</i>	63
3.3.2	<i>Método de ultrasonido a emplearse.</i>	63
3.3.3	<i>Normalización y tolerancia admisibles.</i>	63
3.4	<i>Identificación del tipo de material de la tubería de vapor.</i>	63
3.5	<i>Determinación de puntos críticos de inspección.</i>	64
3.5.1	<i>Puntos de referencia de inspección.</i>	64
3.5.2	<i>Selección de puntos críticos de inspección de acuerdo a la producción.</i>	65
3.5.2.1	<i>Análisis de criticidad.</i>	65
3.5.2.2	<i>Matriz de criticidad.</i>	66
3.5.2.3	<i>Flujograma de criticidad.</i>	67
3.5.2.4	<i>Selección de puntos críticos para la inspección.</i>	68
3.6	<i>Señalización de los puntos críticos</i>	71
3.6.1	<i>Recomendaciones de selección de puntos críticos</i>	71
3.6.2	<i>Puntos de medición de un punto crítico.</i>	71
3.7	<i>Preparación de la superficie a inspeccionarse y el acoplante</i>	72
3.7.1	<i>Aplicación del método de limpieza de la superficie.</i>	72
3.7.2	<i>Aplicación del acoplador sobre la superficie.</i>	72
3.8	<i>Inspección de los puntos críticos seleccionados</i>	73
3.9	<i>Registro del archivo en el equipo</i>	74
3.10	<i>Toma de datos de inspección</i>	74
3.11	<i>Almacenamiento de la toma de datos de inspección</i>	75
3.12	<i>Verificación de la toma de datos de inspección</i>	75
3.13	<i>Limpieza de la superficie inspeccionada</i>	75
3.14	<i>Importación de los datos de las inspecciones realizadas</i>	76
3.15	<i>Informe</i>	76
3.16	<i>Tabulación de datos</i>	77
3.17	<i>Denominación de puntos seleccionados para el análisis.</i>	77
3.17.1	<i>Informes de los puntos críticos inspeccionados bajo ASTM E-797.</i>	78
<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>	
4.1	<i>Tabulación de datos obtenidos.</i>	93
4.1.1	<i>Tabulación de datos del área de extrusión.</i>	93
4.1.2	<i>Tabulación de datos del área de peletizado.</i>	94
4.2	<i>Indicaciones de datos</i>	97
4.2.1	<i>Indicaciones falsas.</i>	98
4.2.2	<i>Indicaciones relevantes.</i>	100

4.3	Evaluación de los datos .....	103
4.3.1	<i>Evaluación de datos relevantes</i> .....	103
4.4	Resultados relevantes de las inspecciones realizadas en la línea de vapor .....	106
4.5	Identificación de puntos críticos descartados para el análisis de falla.....	107
4.6	Identificación de puntos críticos para la determinación de fallas funcionales.....	108
4.7	Análisis funcional en base a las inspecciones realizadas.....	109
4.8	Funciones de los puntos críticos inspeccionados.....	109
4.9	Fallas funcionales de los puntos críticos inspeccionados .....	111
4.10	Modos de las fallas potenciales encontradas .....	112
4.11	Efectos que causan las fallas funcionales encontradas .....	115
4.12	Consecuencias de las fallas funcionales de los puntos críticos.....	117
4.13	Determinación de fallas potenciales de los puntos críticos .....	119
4.14	Riesgos de las fallas potenciales.....	120
4.14.1	<i>Consecuencia sobre la seguridad humana y el ambiente</i> .....	120
4.14.2	<i>Consecuencia operacional</i> .....	120
4.15	Prevención de las fallas potenciales encontradas .....	121
4.16	Medidas de prevención de fallas potenciales.....	121
4.16.1	<i>Medidas de prevención para el control de la corrosión por cavitación</i> .....	121
4.16.2	<i>Medidas de prevención para el control de la corrosión por erosión</i> .....	122
4.16.3	<i>Medidas de prevención para el control de la corrosión atmosférica húmeda</i> .....	122
4.17	Tareas de mantenimiento.....	122
4.18	Propuesta a la empresa Bioalimentar.....	125
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
5.1	Conclusiones.....	126
5.2	Recomendaciones .....	127

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1	Tipos de ondas y sus características ..... 15
2	Formas de corrosión ..... 36
3	Atmósferas naturales en diferentes medios ..... 37
4	Velocidad acústica de algunos materiales ..... 46
5	Ejemplos de archivos de tipo incremental ..... 52
6	Ejemplos de archivos tipo secuencial ..... 53
7	Ejemplos de códigos de ID resultantes del archivo tipo caldera ..... 54
8	Composición del ASTM A 53 GRB ..... 64
9	Matriz de criticidad..... 66
10	Designación y descripción de los puntos para el análisis de criticidad ..... 68
11	Análisis de criticidad para selección de puntos a inspeccionar ..... 69
12	Modelo de informe a realizar según especificaciones de ASTM E - 797..... 76
13	Denominación de puntos para el análisis..... 77
14	Informe codo de 90° manífull de extrusión..... 78
15	Informe salida de la válvula de alivio..... 79
16	Informe tubería control del manífull de extrusión ..... 80
17	Informe tubería de ingreso a extrusión ..... 81
18	Informe tubería de ingreso a extrusión ..... 82
19	Informe codo de 90° de la línea de ingreso a peletizado ..... 83
20	Informe tubería del cuadro de control de vapor..... 84
21	Informe codo de 90° de entrada del alimentador peletizadora # 2..... 85
22	Informe codo 90° de la tubería de la válvula de alivio ..... 86
23	Informe codo 90° de la peletizadora # 2 ..... 87
24	Informe tubería del cuadro de control de la peletizadora #3 ..... 88
25	Informe tubería de ingreso al peletizadora #1 ..... 89
26	Informe codo 90 ° de ingreso a la peletizadora #3 tramo 1 ..... 90
27	Informe tubería recta de ingreso a la peletizadora #3 tramo 2..... 91
28	Informe codo 90° de ingreso a la peletizadora #3 tramo 3 ..... 92
29	Puntos de medición del área de extrusión..... 93
30	Puntos de medición del área de peletizado ..... 94
31	Indicaciones falsas de las mediciones del área de extrusión..... 99
32	Indicaciones falsas de las mediciones del área de peletizado ..... 99
33	Evaluación de los puntos críticos inspeccionados bajo ASME B31G..... 104
34	Acciones a tomar en los puntos críticos ..... 106
35	Puntos críticos descartados para la identificación de fallas ..... 108
36	Identificación de puntos críticos para determinación de fallas funcionales ..... 109
37	Funciones de los puntos críticos inspeccionados..... 110
38	Fallas funcionales de los puntos críticos inspeccionado..... 111
39	Modos de las fallas potenciales de los puntos críticos..... 113
40	Efectos de las fallas funcionales de los puntos críticos ..... 115
41	Consecuencias de las fallas funcionales de los puntos críticos..... 117
42	Determinación de las fallas potenciales de los puntos críticos ..... 119
43	Tareas de mantenimiento de los puntos críticos inspeccionados..... 124

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1	Mantenimiento industrial..... 4
2	Ensayos no destructivos..... 7
3	Control de calidad en materiales..... 8
4	Accidentes ocasionados por falta de mantenimiento ..... 8
5	Inspección por ultrasonido..... 9
6	Aplicación del ultrasonido..... 11
7	Generación de ondas ultrasónicas..... 12
8	Características de las ondas ultrasónicas ..... 13
9	Cristal piezoeléctrico ..... 16
10	Imagen del A-Scan ..... 16
11	Imagen del B-Scan..... 17
12	Presentación de la forma interior según B-Scan ..... 17
13	Curva para determinar el valor de B..... 21
14	Parámetros de corrosión utilizados en el análisis ..... 22
15	Curva para obtener $P'$ como una función de $d/t$ para valores de $A \leq 4$ ..... 23
16	Curva para obtener $P'$ como función de $d/t$ para $A > 4$ ..... 24
17	Función primaria de una bomba centrífuga ..... 25
18	Función secundaria de contención de una tubería ..... 26
19	Función secundaria de soporte estructural de una instalación..... 26
20	Función secundaria de apariencia de una caldera ..... 26
21	Función secundaria de higiene y seguridad de una instalación ..... 27
22	Función de protección de una válvula de alivio de presión..... 27
23	Función de control del manómetro en una distribución de vapor..... 28
24	Función subsidiaria de un conjunto motor-bomba en paralelo..... 28
25	Modo de falla por cavitación del alabe de una bomba ..... 29
26	Efecto de un modo de fallo por una fuga de la tubería de vapor ..... 29
27	Modo de fallo evidente por fuga de una tubería ..... 30
28	Modo de fallo oculto..... 30
29	Modo de falla con consecuencia ocultas en un sistema de control..... 31
30	Falla potencial por fisuras de la brida en la válvula ..... 32
31	Tubería corroída ..... 33
32	Rango del pH de un fluido..... 35
33	Corrosión atmosférica..... 36
34	Corrosión por picadura ..... 38
35	Corrosión intergranular..... 38
36	Corrosión por cavitación..... 39
37	Corrosión por erosión ..... 40
38	Corrosión por agrietamiento de sobrecalentamiento de corta duración..... 41
39	Corrosión por agrietamiento de sobrecalentamiento de larga duración..... 41
40	Estructura organizacional del mantenimiento..... 43
41	Ubicación geográfica de Bioalimentar ..... 44
42	Localización de Bioalimentar ..... 44
43	Procedimiento de inspección bajo la norma ASTM E-797 ..... 45
44	Bloque de calibración de cinco espesores ..... 47
45	Acoplante utilizado en inspección..... 48
46	Equipo de medición de espesores 45MG..... 49
47	Teclado del equipo..... 50
48	Funciones del teclado del equipo..... 50
49	Diseño y presentación del software GageView ..... 57

50	Presentación de la página principal del software GageView.....	57
51	Procedimiento de búsqueda del equipo en software GageView.....	58
52	Creación de una carpeta para análisis de espesores .....	59
53	Análisis de espesores por software.....	59
54	Pantalla de Dataset Summary .....	60
55	Pantalla de B- Scan.....	61
56	Pantalla de BSCAN Review .....	61
57	Pantalla de 45MG_Statistics.....	62
58	Pantalla de reportes.....	62
59	Puntos de referencia para la inspección.....	64
60	Producción en toneladas de la empresa Bioalimentar .....	65
61	Flujograma de criticidad.....	67
62	Señalización de puntos críticos.....	71
63	Puntos de medición de un punto crítico.....	71
64	Limpieza de superficies .....	72
65	Aplicación de glicerina sobre la superficie.....	73
66	Inspección de puntos seleccionados .....	73
67	Registro del archivo en el equipo .....	74
68	Toma de datos.....	74
69	Registro del archivo en el equipo .....	75
70	Puntos de medición de extrusión .....	97
71	Puntos de medición de peletizado.....	98
72	Puntos relevantes del área de extrusión .....	100
73	Espesores máximos de los puntos críticos de extrusión .....	101
74	Espesores mínimos de los puntos críticos de extrusión.....	101
75	Puntos relevantes del área de peletizado.....	102
76	Espesores máximos de los puntos críticos de peletizado.....	102
77	Espesores mínimos de los puntos críticos de peletizado .....	103

## SIMBOLOGÍA

<b>T</b>	Período	s
<b>f</b>	Frecuencia	s <sup>-1</sup>
<b>A</b>	Amplitud	mm
<b>λ</b>	Longitud de onda	mm
<b>V</b>	Velocidad acústica	m/s
<b>Z</b>	Impedancia acústica	kg. s/m <sup>3</sup>
<b>ρ</b>	Densidad	Kg/m <sup>3</sup>
<b>J</b>	Unidad de medida julio	Kg. m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
<b>L</b>	Máxima longitud axial permitida para el área corroída	mm
<b>LM</b>	Longitud axial del área corroída	mm
<b>MAOP</b>	Máxima presión admisible de operación	kgf/cm <sup>2</sup>
<b>P'</b>	Presión máxima segura para el área corroída	kgf/cm <sup>2</sup>
<b>P</b>	Presión calculada para tuberías de aceros	kgf/cm <sup>2</sup>
<b>BHP</b>	La potencia del flujo de vapor de agua de una caldera	Kg. m/s
<b>Pd</b>	Presión de diseño	kgf/cm <sup>2</sup>

## LISTA DE ABREVIACIONES

<b>ASTM</b>	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (American Society for Testing and Materials)
<b>ASTM E - 797</b>	Manual práctico estándar para medición de espesor por contacto de ultrasonido pulso-eco
<b>ASTM A53 GRB</b>	Normativa para tubería de alta presión, fabricados con acero al carbono de alta calidad estructural
<b>ASTN</b>	Sociedad Americana para Ensayos no Destructivos (American Society for Nondestructive Testing)
<b>ASME</b>	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (American Society of Mechanical Engineer)
<b>ASME B31G</b>	Manual para determinar la resistencia de las tuberías corroídas
<b>ASME B31.1</b>	Normativa para tuberías de vapor y sistemas de potencia
<b>ASME B16.9M</b>	Normativa para tolerancias admisibles de espesores
<b>EN 473</b>	Norma europea estandarizada para la calificación y certificación del personal para pruebas no destructivas
<b>ISO 22000:2005</b>	Normativa de Gestión de la Inocuidad de los alimentos para animales
<b>SNT-TC-1A</b>	Normativa para calificación y certificación del personal que realiza pruebas no destructivas
<b>SAE20</b>	Aceite de mediana viscosidad con respecto al agua a la misma temperatura.
<b>CRT</b>	Tubos de rayos catódicos
<b>M.u. s.</b>	Mantenimiento de uso
<b>M.h.t.</b>	Mantenimiento justo a tiempo
<b>M.o.c.</b>	Mantenimiento en condición
<b>SCH 40</b>	Cédula 40 en tubería de acero para vapor
<b>GBR</b>	Grado

<b>D790/791</b>	Palpador del equipo de medición
<b>45MG</b>	Modelo de equipo de medición de operación
<b>ID</b>	Código de archivo del equipo de medición
<b>2D</b>	Representación de la imagen en dos planos
<b>NTD</b>	Ensayos no destructivos
<b>PP</b>	Puntos del área de peletizado
<b>PE</b>	Puntos del área de extrusión
<b>THK</b>	Espesor
<b>PCE</b>	Punto crítico del área de extrusión
<b>PCP</b>	Punto crítico del área de peletizado

## LISTA DE ANEXOS

- A** Factor de diseño F de la norma ASME B 31.4
- B** Factor de soldadura E norma ASME B 31.4
- C** Factor de diseño F y de reducción de temperatura T según ASME B 31.4
- D** Espesor, diámetro nominal SMYS y presión de prueba de la tubería sin costura ASTM A 53 cédula 40
- E** Presiones para la selección de materiales
- F** Valores  $l$  para tuberías de diámetros nominales  $\geq 2 < 6$  in de la norma ASME B31G
- G** Tolerancias admisibles de espesores según ASME B16.9 M
- H** Impurezas del agua de alimentaciones para los calderos
- I** Reportes de los puntos críticos del área peletizado
- J** Reportes de los puntos críticos del área extrusión

## RESUMEN

El presente trabajo de “Análisis, Determinación, Evaluación y Prevención de Fallas Potenciales mediante la técnica de Inspección por Ultrasonido en base a la Norma ASTM E-797 en la Línea de Vapor de la Empresa Bioalimentar”, se ejecutó con la finalidad de realizar una guía técnica para la planificación del mantenimiento preventivo que minimice la ocurrencia de fallas potenciales y de paros imprevistos de producción que generan pérdidas económicas.

Se realizó el análisis del estado actual en la línea de distribución de vapor, evaluando los puntos obtenidos en base a los criterios de la norma ASME B31G y determinando las fallas potenciales presentes. Mediante las inspecciones técnicas realizadas se identificó la degradación de la pared interna de la tubería de vapor producto de la corrosión presente en la línea, clasificándola en tres grupos: corrosión atmosférica húmeda, por cavitación y por erosión; fallas detectadas en base a la utilización del equipo de medición 45MG, utilización del software “Gageview” para el análisis de espesores, elaboración de informes bajo los lineamientos de la norma ASTM E-797, análisis de fallas funcionales para la determinación de fallas potenciales y finalmente se procedió a la elaboración de un plan de mantenimiento preventivo.

Con la determinación de los riesgos de fallas potenciales obtenidos se toman acciones de mejoramiento que encaminan a la empresa a aumentar la confiabilidad de la línea de distribución de vapor, alargando la vida útil de las líneas y de sus componentes. En base a los resultados obtenidos se recomienda al área de mantenimiento de la empresa Bioalimentar realizar inspecciones periódicamente de espesores.

## **ABSTRACT**

The present work of “Analysis, Determination, Evaluation and Prevention of Potential Failures through the Inspection by Ultrasound based on the ASTM E-797 at the Vapor Line of Bioalimantar Enterprise” was performed with the aim of developing a technical guide for planning and preventive maintenance that minimize the occurrence of potential failures and unplanned production strikes which generate economical loss.

An analysis of the current state at the vapor distribution line was developed, evaluating the obtained points based upon the criteria of the ASME B31G norm and determining the present potential failures. Through the developed technical inspections, it was identified the degradation of the internal wall of the vapour pipes due to the rust present in the line, clasifying it in three groups: Humid atmospheric rust, for cavitation and erosion; failures detected based on the use of the measurement equipment 45MG, the use of the “Gageview” software for the thickness analysis, elaboration of reports under the ASTM E-797 norm parameters, analysis of the functioning failures for the obtention of potential failures and finally it was proceeded to create a preventive maintenance plan.

With the determination of the risks of potential failures improvement actions are taken in order to lead the Enterprise to improve reliability of the vapour distribution line, lengthening the useful life of the lines and their components. Based on the results obtained, it is recommended to the maintenance area of Bioalimantar, to perform periodical thickness inspections.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

La Facultad de Mecánica de la ESPOCH, a través de sus áreas académicas y de investigación; buscan vincular a sus estudiantes con las diferentes industrias del país, para que de una u otra manera colaboren profesionalmente en la solución de los problemas, cubriendo oportunamente las necesidades que se presenten.

Es el caso de la empresa BIOALIMENTAR Ltda. localizada en la Provincia de Tungurahua, Cantón Ambato, Parroquia Izamba, Parque Industrial Ambato IV etapa. Al momento procesa y distribuye, balanceados para las diversas especies animales y mascotas del mercado. En si esta planta no posee un departamento de mantenimiento predictivo, que le permita pronosticar los diversos problemas que se presentan a diario en sus áreas de producción y que afectan constantemente su proceso productivo.

Es por eso que el mantenimiento predictivo va siendo cada vez más importante en la conservación de las máquinas dentro un proceso productivo en una industria, por lo cual, la presente tesis se encamina a realizar inspecciones de espesores por ultrasonido para identificar, analizar y prevenir las fallas potenciales que están presente en la línea de vapor, debido a que, esta técnica es muy utilizada por la detección, aplicación y facilidad de ubicación de las fallas.

La empresa tiene una planta de producción y un departamento de mantenimiento en la cual doce personas se encargan de la reparación y conservación de sus activos fijos, mediante el uso de las herramientas que la empresa dispone para tal objetivo.

### 1.2 Justificación

En el Ecuador a través del tiempo, el mantenimiento ha jugado un papel importante en la producción de las empresas, por lo cual existe una gran evolución en sus formas y tipos de aplicación, pero como se conoce los costos de aplicación de un mantenimiento

predictivo pueden resultar muy elevados para el presupuesto de una empresa, razón por lo cual no se lo aplica. El precio de dejar que un equipo crítico falle puede ser muy alto, debido a que no solo se debe tomar en cuenta el costo de la reparación, sino también, el precio que se generan por pérdida de producción y de ahí una de las ventajas de aplicar este tipo de mantenimiento.

En la actualidad es necesario contar con estándares de seguridad y calidad que garanticen tanto a los productores como a la producción un óptimo ambiente laboral, como es de suponerse los paros imprevistos en una planta industrial generan la disminución de la eficiencia y calidad de los productos, la industria Bioalimentar no está al margen de estos problemas.

Para contrarrestar una gran parte de aquello, actualmente se cuenta con un personal de mantenimiento que contribuyen en la conservación de la línea de vapor aplicando mantenimiento correctivo y un menor grado mantenimiento preventivo.

En la actualidad no se aplica una norma determinada en las inspecciones de mantenimiento, realizando un trabajo sin principio técnico y estandarizado.

Es la razón por la cual se vio la necesidad de aplicar mantenimiento predictivo, mediante la técnica de inspección por ultrasonido, aplicado bajo los principios, características y fundamentos técnicos de la Norma ASTM E-797 y ASME B31G las mismas que tienen la finalidad de analizar, determinar, evaluar y prevenir las consecuencias que presentan las fallas potenciales en la línea de vapor, mejorando su disponibilidad, reduciendo notablemente los perjudiciales paros imprevistos y pérdidas económicas.

### **1.3 Objetivos**

**1.3.1** *Objetivo general.* Analizar, determinar, evaluar y prevenir las fallas potenciales mediante la técnica de inspección por ultrasonido en base a la norma ASTM E -797 en la línea de vapor de la empresa Bioalimentar.

**1.3.2** *Objetivos específicos:*

Analizar puntos críticos para realizar la inspección de la línea de vapor de la empresa.

Inspeccionar los puntos críticos de la línea de vapor de la empresa a través del análisis por ultrasonido en base a la norma ASTM E -797.

Evaluar los puntos críticos inspeccionados de la línea de vapor.

Determinar las fallas potenciales de las inspecciones realizadas en la tubería de vapor.

Prevenir las fallas potenciales identificadas de los puntos inspeccionados.

Indicar las respectivas acciones correctivas y preventivas de mantenimiento que se debe realizar en los puntos inspeccionados.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Mantenimiento industrial

Se puede definir varios conceptos sobre el mantenimiento, pero todos nos llevan a obtener una misma idea de lo que se trata. El mantenimiento es un conjunto de actividades encaminadas a garantizar la funcionabilidad de los activos de una empresa dentro de un tiempo establecido y dentro un contexto operación determinado.

Figura 1. Mantenimiento industrial



Fuente: [http://www.ifema.es/Institucional\\_01/noticias/NoticiasdeFerias/empresas/IN](http://www.ifema.es/Institucional_01/noticias/NoticiasdeFerias/empresas/IN)

En la actualidad el mantenimiento no puede estar al margen de los procesos de producción, por lo que dependerá de la capacidad tanto del personal y de su efectividad para alcanzar los siguientes propósitos:

- Eliminar los riesgos que presentan cada componente o activo.
- Contribuir de la mejor manera a la no contaminación ambiental.
- Evitar cuantiosos costos por paros imprevistos de producción.
- Mejorar los sistemas de producción tanto en calidad como servicio.
- Aumentar la economía de la empresa.
- Aumentar la rentabilidad del departamento de mantenimiento.
- Reducir al máximo gastos innecesarios por concepto de mantenimiento.

**2.1.1** *Mantenimiento correctivo.* El mantenimiento correctivo se enfoca en realizar un conjunto determinado de actividades, sean de remplazo o reparación en un componente o parte del mismo, cuando se ha producido una falla y/o avería en un intervalo de tiempo inesperado.

El objetivo de este mantenimiento es corregir la falla que se presenta de forma inesperada en un activo, a través de acciones adecuadas de reparación para devolver la funcionalidad del mismo.

**2.1.2** *Mantenimiento preventivo.* Como su nombre lo indica este tipo de mantenimiento previene la aparición de las fallas así como los efectos de sus consecuencias. Se lo realiza según cronogramas establecidos con el propósito de minimizar los paros imprevistos de producción y garantizar la funcionalidad de los sistemas. Existen tres tipos de mantenimiento preventivo:

**2.1.2.1** *Mantenimiento de uso (m.u.s.).* Comprende una inspección visual que se lo ejecuta sobre los sistemas y sus componentes. Involucra al personal relacionado directamente con la conservación de los activos. Entre sus principales actividades están:

- Inspecciones visuales de desgaste en los diferentes componentes de los activos.
- Medición y comprobación de temperaturas en elementos de fricción.
- Medición de temperaturas en elementos dinámicos.
- Revisión de los niveles de engrase.
- Detección en general de anomalías en los activos.

**2.1.2.2** *Mantenimiento hard time (m.h.t.).* Se fundamenta en la revisión total de los activos dentro de un período de tiempo establecido, siendo un poco costoso debido a que se no aprovecha la vida útil total de los componentes de un sistema y puede causar daños a los elementos adyacentes.

Se efectúan las siguientes tareas:

- Desmontaje total de los componentes.
- Cambios o sustituciones de los componentes averiados.

- Complementar los niveles de lubricantes, grasa entre otros.

**2.1.2.3 *Mantenimiento on condition (m.o.c.)***. Se fundamenta en la revisión de la funcionalidad de los componentes a tiempos variables, esto es cuando se presenta anomalías en el normal funcionamiento de los sistemas. Sus principales actividades a realizar son:

- Verificación y control en sistemas eléctricos.
- Cambio y reparación de componentes averiados. (TIGLLA, 2011)

**2.1.3 *Mantenimiento predictivo***. Consiste la aplicación de las nuevas tecnologías que permiten determinar la aparición de fallas antes de que éstas se produzcan, en sí consiste en el conjunto de técnicas modernas cuya función es disminuir los paros imprevistos e incrementar la economía de las plantas de producción. Se basa principalmente en las siguientes técnicas:

- Aplicación de análisis de vibraciones en sistemas rotativos.
- Desarrollo de ensayos no destructivos.
- Análisis de lubricantes. (SENATI, 2009)

## **2.2 Inspecciones no destructivas dentro del mantenimiento**

En la actualidad los ensayos no destructivos constituyen una herramienta fundamental para el mantenimiento de plantas, sistemas y procesos industriales, por consiguiente la aplicación de este campo constituye un pilar fundamental para el desarrollo y ejecución de cualquier plan de mantenimiento que se realice.

La aplicación de esta tecnología tiene la finalidad de verificar la calidad que posee un material, equipo o sistema en un determinado tiempo, el cual, no está dentro de las frecuencias de mantenimiento establecidos en las fichas técnicas y que en la actualidad constituye un método que día a día va siendo desplazado por técnicas modernas como las que se realizan por medio de inspecciones no destructivas.

En sí, la aplicación de estas técnicas constituyen no solo un ahorro económico al bolsillo del cliente, sino también, la modernización del mantenimiento y el

cumplimiento de normas para asegurar tanto la calidad de los productos y servicios, así como; la protección contra accidente y prevención de riesgos laborales al cual están expuestas todas las industrias del país.

Figura 2. Ensayos no destructivos



Fuente: <http://aaende.blogspot.com/2010/10/historia-laboratorio-de-ensayos-no.html>

El desarrollo vertiginoso de la tecnología ha traído como consecuencia un crecimiento de las industria que día a día va abriendo nuevos campos para la investigación, en especial en el campo de los materiales, es por eso que, en la actualidad se ha desarrollado técnicas modernas y efectivas que permiten conocer el comportamiento de los materiales en un determinado tiempo y entre las principales tenemos; tintas penetrantes, termografía, ultrasonido, radiografía, partículas magnéticas, vibraciones, análisis de aceites y entre otras. Las cuales ayudan a mejorar los indicadores de mantenimiento que intervienen estrechamente con la producción en una empresa.

**2.2.1** *Objetivos.* Varios son los objetivos que buscan las inspecciones no destructivas, dentro del campo del mantenimiento y entre los cuales se pueden señalar las siguientes:

- Asegurar la calidad de los materiales, equipos y sistemas ya que a través de los ensayos no destructivos podremos determinar el estado y la condición real en la que se encuentran y de ésta manera se puede definir si es necesario el remplazo o sustitución del material que se ensaya, evitando de esta manera prevenir cualquier paro imprevisto antes de que ésta ocurra y como resultado obtendremos un ahorro económico debido a que se elimina el cambio o sustitución a periodos

fijo como por lo general se lo hace y ahora se podrá justificar si es necesario cambiar el elemento que se ensayó, también se sabrá si éste tiene un determinado tiempo de vida útil que se lo pueda aprovechar, siempre y cuando éste cumpla con los requisitos de seguridad y calidad establecidos.

Figura 3. Control de calidad en materiales



Fuente: [http://www.revistatope.com/135\\_art\\_laga\\_MED.html](http://www.revistatope.com/135_art_laga_MED.html)

- Prevenir accidentes laborales, ya que una vez realizado el ensayo se puede conocer el estado de los materiales, equipos y sistemas dentro de un período determinado, logrando conocer con certeza la condición bajo la cual se trabaja y sobre todo si se trata de equipos que se encuentren sometidos a grandes presiones o temperaturas donde una pequeña falla puede traer como consecuencia grandes accidentes laborales. Es por eso que las inspecciones no destructivas realizan un trabajo preciso debido a que se determinarán que las fallas pueden producirse o están desarrollándose internamente en los sistemas.

Figura 4. Accidentes ocasionados por falta de mantenimiento



Fuente: <http://www.dogguie.net/explosion-en-tuberias-de-gas/>

- Aumentar la economía de las industrias, aunque en muchos casos no se nota directamente los beneficios que traen las inspecciones no destructivas, basta recalcar los efectos que traen como consecuencia la paralización de un proceso o de una línea de producción por un determinado tiempo, sin duda las pérdidas económicas que éstos abarcan son considerables y si a esto le sumamos las pérdidas de calidad, servicio, y confianza por parte del cliente, nos da como resultado elevados costos que en comparación a los costos de la aplicación de las inspecciones no destructivas, éstos no tienen un mínimo grado de comparación.
- Abrir nuevos campos de investigación, donde, un factor fundamental a considerar es el comportamiento al cual se encuentran sometidos los diversos materiales que forman parte de un sistema de producción, éstos se hallan sujetos a diversas fuerzas, cargas y condiciones laborales que modifican el estado tanto interno como externo, desarrollando así nuevos campos de investigación para el análisis del comportamiento de los materiales y su estudio en el desarrollo del mejoramiento de las técnicas aplicadas al mantenimiento. (ALMENDARIZ, 2010)

**2.2.2 Método de ultrasonido.** Es un método que constituye la aplicación de ondas ultrasónicas para la detección de defectos superficiales y subsuperficiales en materiales equipos o sistemas sin modificar las condiciones iniciales de servicio. (CARO, 2008)

Este método es empleado en procesos industriales, donde, se necesita garantizar la calidad de los procesos y la no interrupción dentro de la producción, en si a través de este método no solo se garantiza la continuidad de la producción, también se determinará un estado aceptable para realizar las condiciones laborales donde el ser humano es el principal factor a considerar (ver Figura 5).

Figura 5. Inspección por ultrasonido



Fuente: OLYMPUS, 45MG, Medidor de espesores por ultrasonido

Un simple ejemplo que se puede señalar es que pasaría si no se lleva un control de los sistemas de calentamiento en tuberías o la de recipientes que se encuentren sometidos a grandes presiones, como se puede notar un simple fallo o avería que se produzca en uno de éstos elementos llevará consigo grandes efectos y consecuencias que podrían ser mortales tanto para el personal que labora cerca a dicho elementos, así como, para las que se encuentren alrededor de ellos. (BUNGE, y otros, 2011)

Como se puede notar, los END constituyen una herramienta fundamental e insustituible dentro de los procesos de producción que contribuyen significativamente al desarrollo y crecimiento de cualquier empresa que busque abrir nuevos mercados con responsabilidad y solvencia.

**2.2.3** *Generalidades del ultrasonido.* Constituye un método moderno y de fácil aplicación que se puede trasladar y ejecutarse sin ningún problema hacia el lugar donde se requiera su aplicación, es decir, es un método de campo que emplea equipos portátiles para tal efecto, sus resultados deberán ser evaluados por personal calificado y certificado que esté al tanto de estas técnicas. (CASTELLANOS, 2012)

Por lo general este método es desarrollado por personal que previamente ha sido capacitado y entrenado para tal efecto, que de acuerdo a su experiencia ha adquirido certificaciones y calificaciones bajo normas internacionales como la ASTN, SNT-TC-1A, y EN 473. Básicamente se dividen en tres niveles:

- *El nivel I.* Lo constituye personal técnico que previa capacitación han desarrollado habilidades para la calibración de equipos así como; Para la toma de medidas en campo, el registro, clasificación de los datos y la realización de informes básicos sobre el proceso de ensayo que se realiza.
- *El nivel II.* Aparte de las actividades realizadas por el personal de nivel I, puede cumplir con otras actividades como la interpretación de resultados obtenidos en el ensayo bajo el cumplimiento de las normas y códigos establecidos para cada caso. Tiene a su cargo la planificación de las inspecciones así como la interpretación de resultados obtenidos además de la capacitación y entrenamiento permanente del personal del nivel I, también como la supervisión del control en las actividades que realice.

- *El nivel III.* El personal tiene el mayor grado de conocimientos y aptitudes que le permiten aplicar el método que considere adecuado para cada caso además de poder efectuar la evaluación, interpretación e inspección de códigos y normas, asumiendo toda la responsabilidad de la efectividad del ensayo realizado y es el encargado de la supervisión, capacitación y control del nivel I y II. (S.A.C, 2013)

**2.2.4 Aplicación industrial.** El ultrasonido es una técnica versátil, capaz de detectar defectos superficiales y subsuperficiales en productos metálicos y no metálicos tales como; aceros, fundiciones, soldaduras, tuberías, hojas delgadas, contenedores de metal, materiales delgados de fibra de vidrio, cauchos, cerámica y compuestos. Se puede realizar la medición de espesores en piezas y materiales con gran atenuación como fibras de vidrio o metales fundidos e inspecciones de corrosión. Principalmente es ideal su aplicación en materiales que se hallan expuestos en medios agresivos de trabajo (ver Figura 6).

Figura 6. Aplicación del ultrasonido



Fuente: OLYMPUS, Manual del usuario, Medidor de espesores por ultrasonido, 45MG

**2.2.5 Ventajas.** Este campo va dirigido a cualquier industria que busque mayor confiabilidad y disponibilidad en sus equipos, debido a que abarca un amplio rango de aplicaciones que se detallan a continuación:

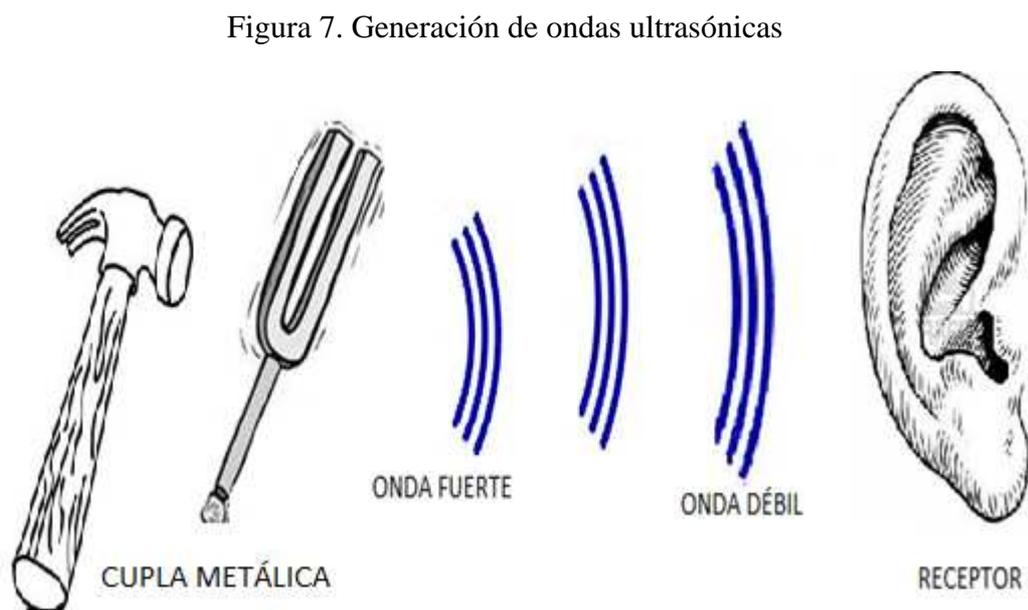
- Uso seguro, pues no necesita de equipo de protección especialmente diseñado para realizar el ensayo.
- Facilidad de lectura e interpretación de resultados.
- Alta exactitud en la determinación del tamaño, forma y posición del defecto.
- Excelente sensibilidad para la detección de defectos muy pequeños.

- Facilidad para penetrar en materiales de gran espesor.
- Medición en temperaturas elevadas.
- Facilidad para la medición sin necesidad de decapar pinturas o recubrimientos de los materiales.

**2.2.6 Desventajas.** Son pocas las limitaciones que se presentan en este método en comparación a sus ventajas y entre las presentes se pueden señalar:

- Altos costos en equipos de medición que se necesita para implantar un departamento de mantenimiento predictivo.
  - Necesidad de emplear sensores o transductores que varían de acuerdo a las condiciones ambientales y de trabajo a la cual se hallan sometidos los diversos materiales que conforman una industria.
  - Personal calificado que cumpla con normas y reglamentos establecidos.
  - Dificultad de medición e interpretación en zonas pequeñas o de difícil acceso.
- (PERERA, 2010)

**2.2.7 Las ondas ultrasónicas.** Cuando se golpea un diapasón con un martillo, éste vibra y produce ondas sonoras al comprimir el aire. Estas ondas viajan a través del aire hacia el oído del receptor.



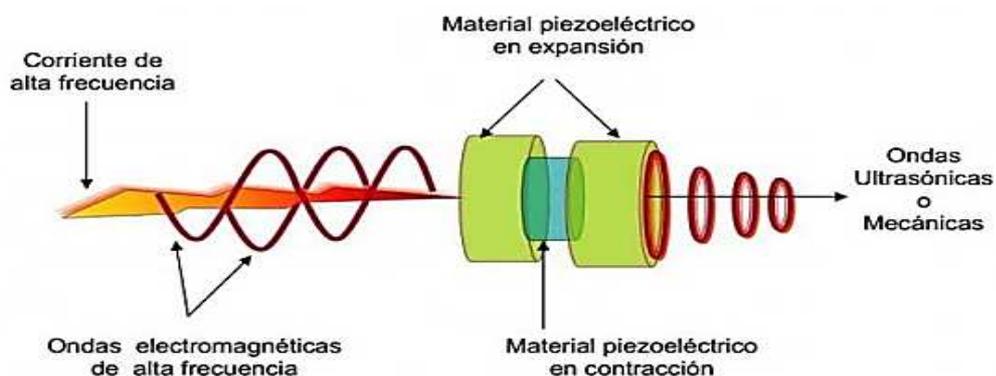
Fuente: CEVALLOS Edgar, Ensayos No Destructivos. p.133

Las vibraciones del diapasón pronto se pierden y no producen más ondas. Similarmente, en los ensayos de ultrasonido, una pulsación de corriente eléctrica golpea o excita a un transductor (cristal) que vibra como un diapasón. El haz sonoro del transductor viaja entonces a través de un medio que puede ser agua, aceite, etc., hasta la superficie frontal de la pieza de ensayo (ver Figura 7). Se muestra el transductor en contacto con la pieza de ensayo, con las pulsaciones del haz sonoro viajando a través de la pieza. (CEVALLOS, 2000 págs. 133-134)

El ultrasonido emplea ondas sonoras de frecuencias superiores a los 20000 Hz, que están más allá de las frecuencias audibles al oído humano y son este tipo de frecuencias las que mediante equipos especiales se puede convertir en espectros, para la detección de defectos en los productos.

**2.2.8 Características de las ondas ultrasónicas.** Para la transmisión del sonido se necesita de un medio por donde viajen las ondas y este medio viene a ser la materia, teniendo en cuenta que no es posible el viaje de ondas por el vacío. La forma en que presentan las ondas son tipo sinusoidal (ver Figura 8).

Figura 8. Características de las ondas ultrasónicas



Fuente: <http://macroestetica.com/wp-content/uploads/2013/01/ultrasonido-e1359146462721.jpg>

**2.2.8.1 Período.** Es el tiempo que se demora la partícula en completar un ciclo, su símbolo es (T).

**2.2.8.2 Frecuencia.** Representa el número de vueltas que da la partícula en una unidad de tiempo, es el inverso del período, se lo representa con el símbolo (f).

**2.2.8.3 Longitud de onda.** Representa la distancia existente entre dos puntos que se encuentran en la misma condición de oscilación, es decir, en el mismo estado de vibración, se lo representa con el símbolo ( $\lambda$ ).

**2.2.8.4 Amplitud.** Es el valor máximo que alcanza a desplazarse la partícula vibratoria como resultado de la presión de onda, se lo representa con el símbolo (A).

**2.2.8.5 Velocidad acústica.** Representa la rapidez con que se propaga la onda en un intervalo de tiempo determinado, por consiguiente dependerá del material por el cual se propague la onda además de otros factores como; presión y temperatura existentes en el medio. Su símbolo es (V). (CUAUTITLÁN, 2010)

**2.2.8.6 Impedancia acústica.** Cuando una onda ultrasónica, viaja a través del material o el medio, éste llega a un límite y un segundo medio, parte de la energía continua a través del segundo medio mientras lo restante es reflejado hacia el primer medio. La característica de cada material de ensayo que determina la cantidad de reflexión, es conocida como impedancia acústica (z). Es el producto de la densidad ( $\rho$ ) y de su velocidad (v). (CEVALLOS, 2000 pág. 143)

**2.2.8.7 Presión acústica.** Se define como la diferencia de presiones altas y bajas en un determinado punto y bajo una determinada secuencia periódica. Esta diferencia de presiones produce una presión alterna conocida como presión acústica, la cual se puede originar tanto en sólidos, líquidos o gases.

**2.2.8.8 Intensidad acústica.** Se define como la energía que atraviesa el área de una superficie en dirección normal a la propagación del movimiento. Nos muestra si un sonido es fuerte o débil y es inversamente proporcional a la distancia; es decir a mayor distancia menor intensidad de sonido y a menor distancia mayor será la intensidad de sonido.

**2.2.8.9 Energía acústica.** Se transmite a través de las ondas sonoras en un medio a la velocidad de la onda, donde parte de esta energía se disipa al medio en forma de energía térmica. Su unidad de medida es el julio (J). (GALLEGOS, 2011 págs. 6-7)

**2.2.9 Tipos de ondas y su aplicación.** Cuando en un material se aplica impactos o golpes se produce un movimiento de los átomos que se hallan alineados entre sí, originando varios movimientos de ondas que son el producto de la constitución atómica, la ubicación de los átomos en un material y se han clasificado según su forma y dirección en cuatro tipos de ondas:

- Longitudinales o de comprensión.
- Transversales o de corte.
- De superficie u ondas Rayleigh.
- Ondas de Lamb (ver Tabla 1).

Tabla 1. Tipos de ondas y sus características

Tipo Onda	Gas	Líquido	Sólido	Movimiento de partículas	Aplicación
Longitudinal	Si	Si	Si	Compresión y refracción a lo largo del eje de propagación	Pruebas, mediciones ( más usado)
Transversal	No	No (excepto pequeñas películas)	Si	Desplazamiento de la partícula perpendicular al eje de propagación	Pruebas, resonancia, resonancia
Superficie	No	No	Si (sólo superficie)	Elipses, se atenúan rápido por debajo de la superficie	Pruebas de superficie para partes de difícil acceso
Lamb	No	No	Si	Elipses, transmisión de onda guiada	Láminas y barras delgadas

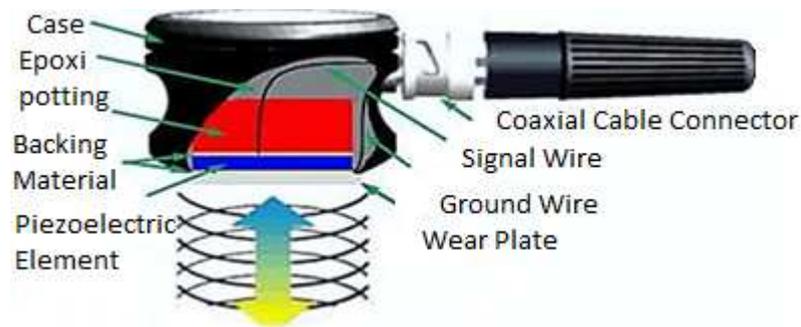
Fuente: <http://www.mty.itesm.mx/die/ddre/transferencia/59/59-III.03.html>

**2.2.10 Características del haz ultrasónico.** Constituyen ondas mecánicas basadas en oscilaciones vibratorias de los átomos de un material, donde las ondas ultrasónicas necesitan exclusivamente de un medio para propagarse, dicho medio puede ser sólido, líquido o gaseoso pero no en vacío. En si el haz ultrasónico es una onda que obedece a la ecuación general de ondas, donde la onda viaja de acuerdo a sus características que dependen del medio por el cual se propague.

**2.2.11 Velocidad del haz ultrasónico.** Las ondas ultrasónicas se propagan a través de sólidos y líquidos, sus velocidades son altas de acuerdo al tipo de sólido o líquido pero en gases la velocidad es relativamente baja. (S.A.C, 2013)

**2.2.12 Piezoelectricidad.** Se basa fundamentalmente en el principio de un cristal piezoeléctrico transmisor de alta frecuencia que cuando vibra, produce una corriente eléctrica y cuando se aplica una corriente eléctrica, éste vibra. El cristal transforma energía eléctrica en vibración mecánica y transmite a través de un medio hacia el material de ensayo. Estas vibraciones se propagan a través del material de ensayo con una velocidad que depende de la densidad y elasticidad del material a ensayarse. (ALMENDARIZ, 2010 pág. 80)

Figura 9. Cristal piezoeléctrico



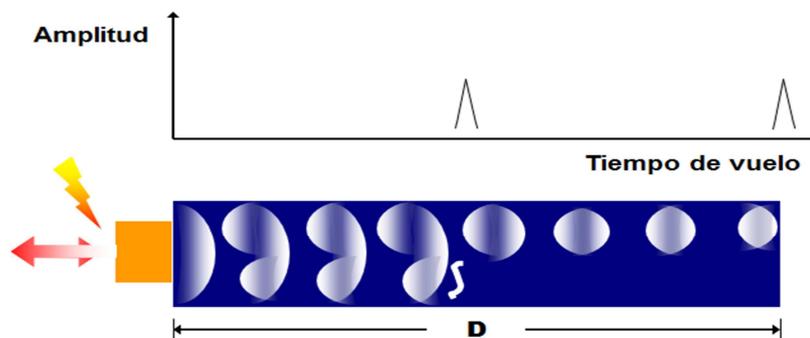
Fuente: TECSUD, Manual del usuario

**2.2.13 Representación del eco en instrumentos de medición.** Existe dos maneras que se representan los ecos:

A-Scan que presenta las siguientes características:

- Tipo de representación donde se grafica la amplitud contra el tiempo de vuelo.
- Difícil interpretación.
- Necesita personal calificado.

Figura 10. Imagen del A-Scan

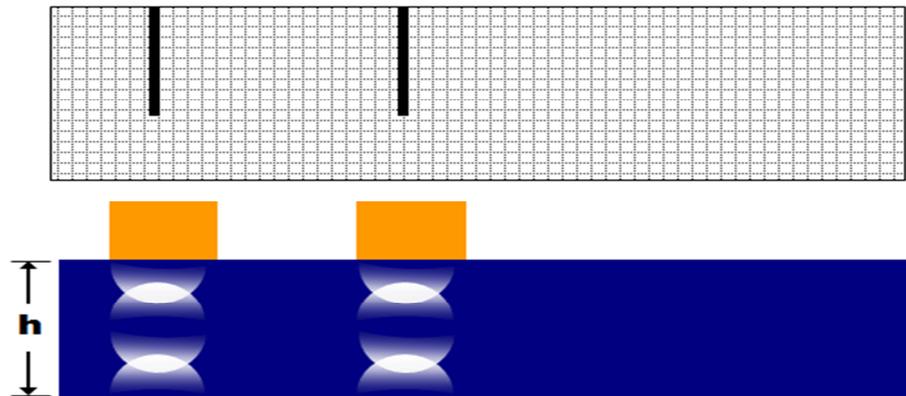


Fuente: TECSUD, Manual del usuario

B-Scan que presenta las siguientes características:

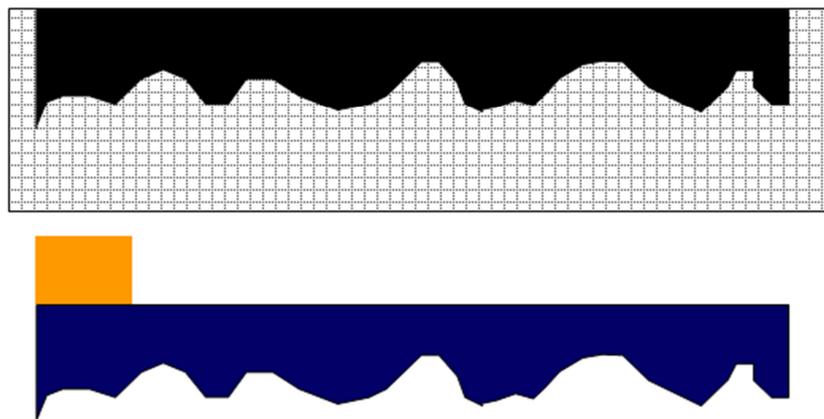
- Representación de tiempo de vuelo contra espesor.
- No recomendado para ver defectos internos que se sospechen en la pieza.
- Excelente para espesores.

Figura 11. Imagen del B-Scan



Fuente: TECSUD, Manual del usuario

Figura 12. Presentación de la forma interior según B-Scan



Fuente: TECSUD, Manual del usuario

**2.2.14 Métodos y técnicas de inspección ultrasónica.** Existen dos tipos fundamentales de métodos que poseen determinadas características, las cuales son aprovechadas en diversas situaciones de ensayo. Siendo estos ensayos los de inmersión y de contacto que a su vez se subdividen en:

- Ensayo de contacto: eco pulsátil, resonancia y transmisión a través.
- Ensayo de inmersión: técnica sumergida y técnica de la burbuja.

## **2.3 Normas aplicadas para la inspección y evaluación de las tuberías**

**2.3.1 Norma ASTM E-797.** Esta norma ha sido publicada bajo la designación fija E 797-95, el número inmediatamente siguiente a la designación indica el año de adopción original, en el caso de revisión, el año de la última revisión. El número entre paréntesis indica el año de la última aprobación. Es un manual práctico estándar para medición de espesor por contacto de ultrasonido pulso-eco.

**2.3.1.1 Alcance.** Esta práctica es aplicable a cualquier material en el que las ondas ultrasónicas se propagan a una velocidad constante a través del material y sus reflejos se pueden obtener y resolver. Los valores indicados en unidades en pulgada-libra o en el SI deben ser considerados como estándar. Los valores entre paréntesis son información únicamente.

Esta norma no pretende señalar todos los problemas de seguridad, si los hay asociados con su uso. Es la responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadas de seguridad, salud, determinar la aplicabilidad y las limitaciones reglamentarias antes de su uso.

**2.3.1.2 Importancia y uso.** Esta práctica proporciona directrices para la medición del espesor de materiales utilizando el método de pulso-eco en contacto con temperaturas que no excedan los 200°F (93°C).

**2.3.1.3 Procedimiento de inspección.** Para el procedimiento de inspección según la norma ASTM E-797 se muestra los siguientes requisitos:

- Instrucciones de funcionamiento del fabricante del instrumento.
- Ámbito de aplicación de materiales y objetos que se desea medir.
- Aplicabilidad, requisitos de precisión.
- Definiciones.
- Requisitos.
- Personal.
- Equipo.
- Procedimiento.
- Las condiciones de medición.

- Preparación de la superficie y acoplador.
- Normalización y tolerancias admisibles.
- Informe.
- Procedimiento utilizado.
- Registro de mediciones.

**2.3.1.4** *Informe.* Registrar la siguiente información en el momento de las mediciones e incluirlo en el informe:

- Procedimiento de examinación.
- Tipo de instrumento.
- Bloque de normalización, tamaño y tipo de material.
- Tamaño, frecuencia y el tipo de unidad de búsqueda.
- Métodos de medición.
- Resultados.
- Máximas y mínimas mediciones de espesor.
- Ubicación de las mediciones.
- Datos del personal. (ASTM, 1995)

**2.3.2** *Norma ASME B31G.* Es un documento destinado a evaluar el estado de tuberías de servicio que por lo general han operado durante un tiempo considerable, donde es necesario el criterio de evaluar y garantizar la calidad e integridad de las tuberías sujetas a altas presiones, siendo la corrosión un factor de relevancia que debe ser evaluado para determinar la reparación o remplazo de las líneas. Este procedimiento es válido para todas las tuberías que son parte de la ASME B31 de tuberías a presión. El procedimiento no se puede aplicar en tuberías nuevas y su propósito es de proporcionar una guía a los operarios para la continuidad o el remplazo de las líneas de servicio.

**2.3.2.1** *Evaluación de tuberías según ASME B31G.* Para la evaluación de estas líneas es necesaria la toma de datos mediante la medición de espesores siguiendo las normas y reglamentos establecidos para estos casos. Obtenidos estos datos se procede al análisis de 3 etapas definidas por la norma.

**2.3.2.2 Determinación de la profundidad máxima de corrosión.** Se determina el porcentaje del área corroída respecto al valor nominal de la pared, a través de la siguiente fórmula:

$$\%profundidad = \frac{d}{t} \quad (1)$$

Donde:

d = Medida máxima de la profundidad del área corroída, en mm.

t = Espesor nominal de la pared de la tubería, en mm.

Mediante la evaluación del porcentaje del área corroída se establece tres etapas para las siguientes condiciones:

- Si % profundidad > 80%, se debe reparar o sustituir.
- Si 10% < %profundidad < 80%, se prosigue a la evaluación de la longitud axial máxima permisible.
- Si % de profundidad < 10%, se deberá regresar al servicio.

**2.3.2.3 Evaluación de la longitud axial máxima permisible.** Se procede al cálculo de la longitud axial máxima permisible cuando el porcentaje de profundidad del defecto se encuentra entre el 10% y 80%. Para ello se aplica la ecuación:

$$L = 1.12B\sqrt{Dt} \quad (2)$$

Donde:

L = Máxima longitud axial permitida para el área corroída, en mm.

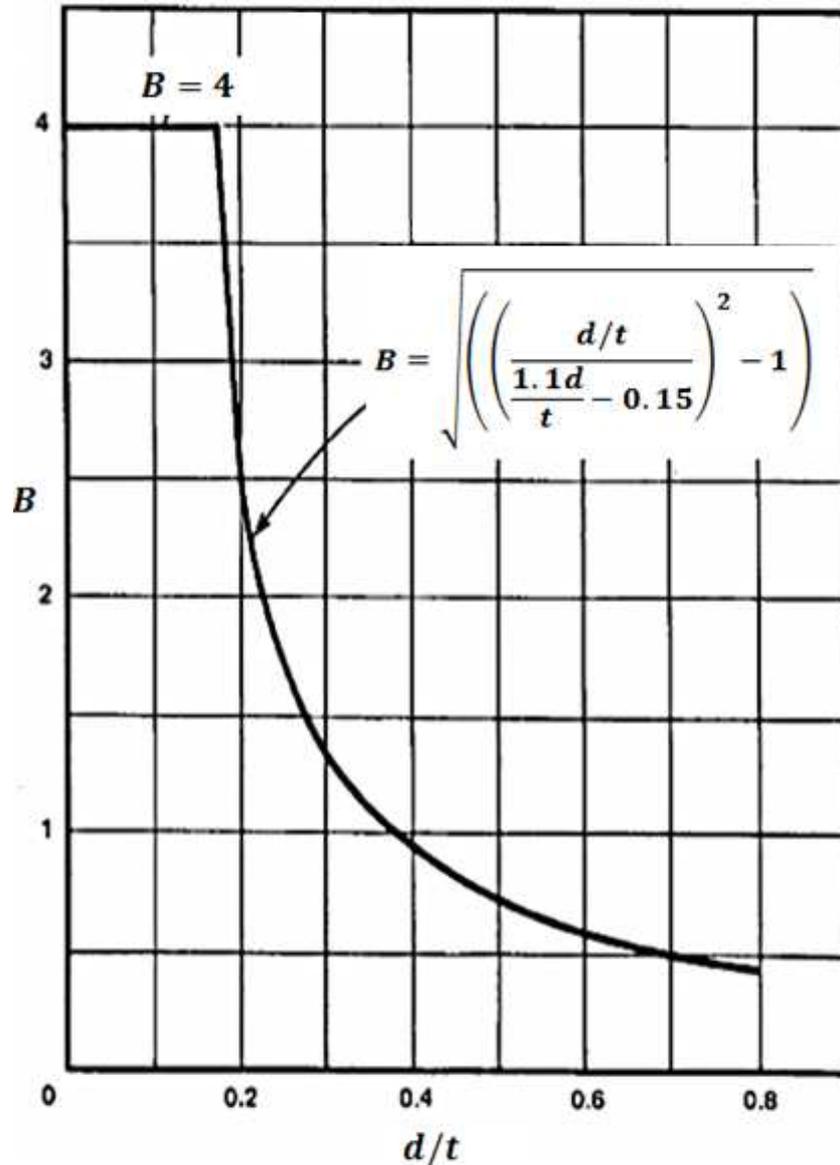
D = Diámetro nominal exterior de la tubería, en mm.

B = Representa un valor adimensional que se determina mediante la ecuación (3), o también según el gráfico de la norma (ver Figura 13).

$$B = \sqrt{\left( \left( \frac{d/t}{\frac{1.1d}{t} - 0.15} \right)^2 - 1 \right)} \quad (3)$$

El valor de B no puede exceder a 4. Si la profundidad de corrosión esta entre el 10% y 17.5 %, se debe utilizar el valor B = 4.

Figura 13. Curva para determinar el valor de B



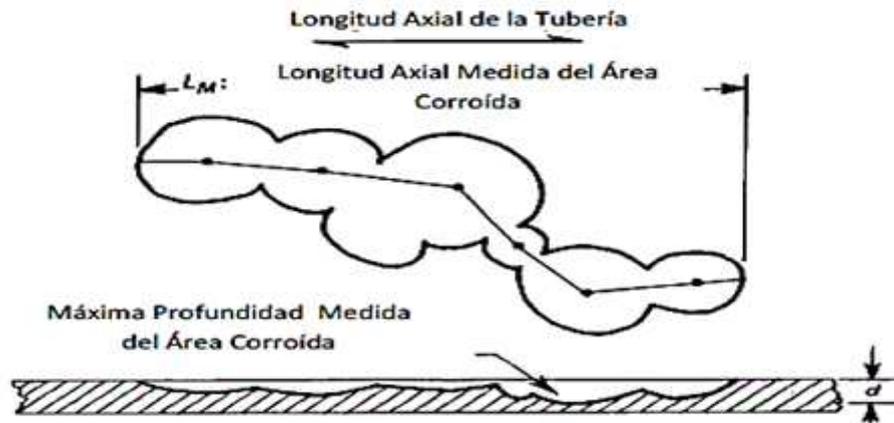
Fuente: <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/asme.b31g.1991.pdf>

Luego se procede a comparar los valores de L y la longitud axial del área corroída LM donde se establece dos condiciones:

- Si  $LM > L$ , se procede a evaluar el MAOP.
- Si  $LM \leq L$ , el segmento de la tubería debe seguir operando.

Siendo LM un valor obtenido mediante la medición de espesores (ver Figura 14).

Figura 14. Parámetros de corrosión utilizados en el análisis



Fuente: <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/asme.b31g.1991.pdf>

y  $L$  representa el valor obtenido de la ecuación o por medio de tablas de la sección 3 de la norma ASME B31G.

**2.3.2.4 Evaluación de la máxima presión de operación permitida (MAOP).** Para la evaluación de estos parámetros se necesita datos de construcción de la tubería como el espesor y el MAOP. Luego es necesario determinar el valor adimensional  $A$ , que se lo obtiene a partir de la ecuación:

$$A = 0.893 \frac{LM}{\sqrt{Dt}} \quad (4)$$

Donde:

$LM$  = Longitud axial medida del área corroída, en mm.

$D$  = Diámetro exterior de la tubería, mm.

$t$  = Espesor nominal de la tubería, mm.

Si el valor de  $A \leq 4$ , se procede a determinar el valor de presión máxima segura para el área corroída (ver Figura 15). También se calcula por la ecuación:

$$P' = 1.1P \left[ \frac{1 - 2/3 \left( \frac{d}{t} \right)}{1 - 2/3 \frac{d}{t \sqrt{A^2 + 1}}} \right] \quad (5)$$

Donde:

$P'$  = Presión máxima segura para el área corroída, en psi.

d = Profundidad máxima del área corroída, en mm.

t = Espesor nominal de la tubería, en mm.

A = Factor adimensional calculado por la ecuación (4).

P = La mayor presión entre MAOP y la calculada por la siguiente ecuación:

$$P_C = \frac{2SMYS.t.F.T}{D} \quad (6)$$

Donde:

SMYS = Esfuerzo de fluencia mínimo especificado, en psi.

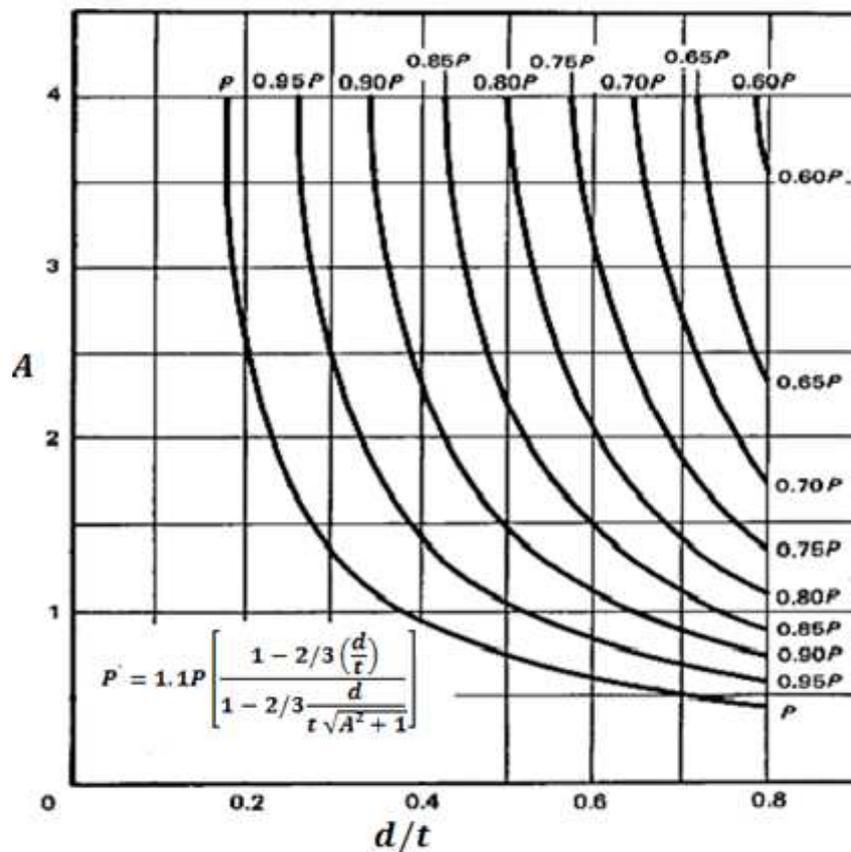
t = Espesor nominal de la tubería, en mm.

F = Factor de diseño apropiado según ASME B31.4.

T = Factor de temperatura del código B31 apropiado (T = 1).

D = Diámetro exterior nominal de la tubería, en mm.

Figura 15. Curva para obtener P' como una función de d/t para valores de A ≤ 4



Fuente: <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/asme.b31g.1991.pdf>

Para valores de  $A > 4$ , la presión máxima segura del área corroída puede calcularse por la ecuación:

$$P' = 1,1P \left(1 - \frac{d}{t}\right) \quad (7)$$

Donde:

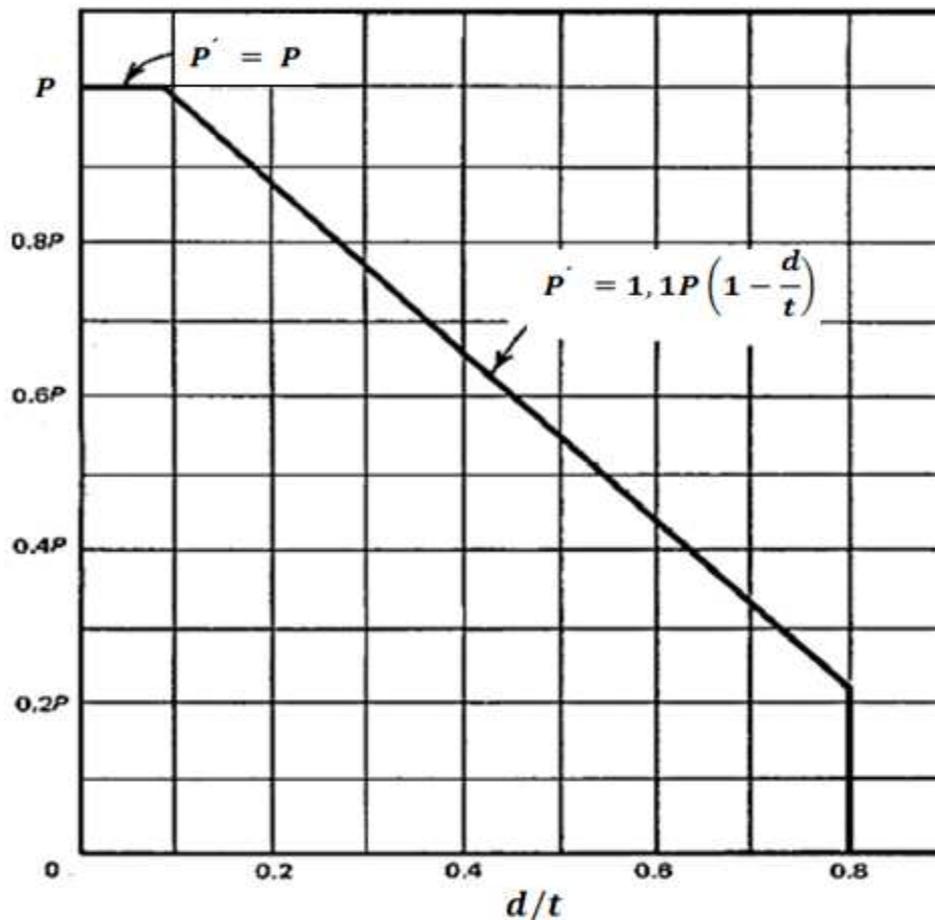
$P'$  = Presión máxima segura para el área corroída, en psi.

$d$  = Profundidad máxima medida del área corroída, en mm.

$t$  = Espesor nominal de la pared de la tubería, en mm.

De igual forma el valor de  $A$  se puede determinar gráficamente (ver Figura 16).

Figura 16. Curva para obtener  $P'$  como función de  $d/t$  para  $A > 4$



Fuente: <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/asme.b31g.1991.pdf>

Finalmente se procede a comparar los datos obtenidos y se establece las siguientes condiciones:

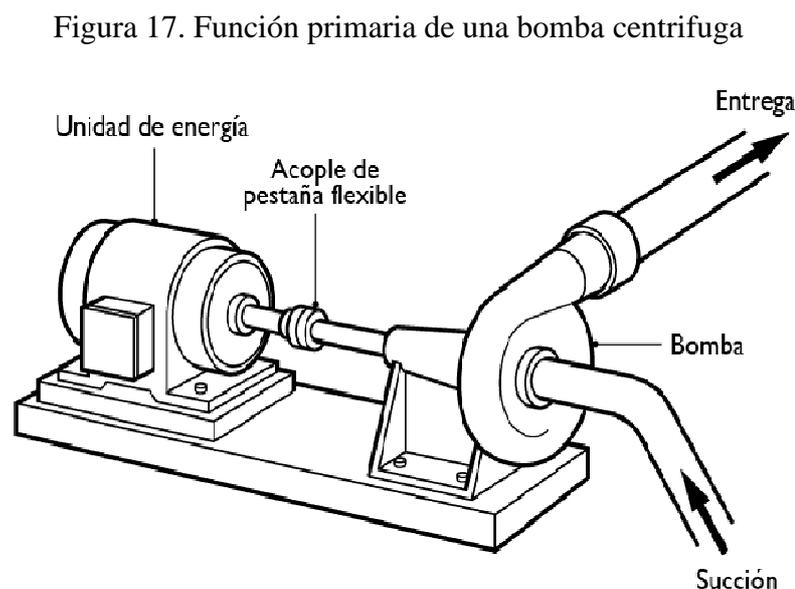
- Si  $MAOP \leq P'$  la tubería con defecto por corrosión puede permanecer en servicio a MAOP.
- Si  $MAOP > P'$  se debe establecer un MAOP menor que no exceda a  $P'$  o se deberá reparar o reemplazar el área corroída. (ASME, 1991)

## 2.4 Análisis de fallas funcionales

El análisis funcional es un proceso de alta importancia dentro del mantenimiento para realizar el análisis sistemático de los problemas que atrae una falla que está presente dentro de un activo que imposibilita su correcto funcionamiento. Para realizar este análisis se debe tener en cuenta conceptos básicos para realizar dicho análisis.

**2.4.1 Función.** La función es la finalidad para la cual se diseña un activo que satisfaga una necesidad. Para analizar de una mejor manera una función se las ha clasificado en:

**2.4.1.1 Función primaria.** La función primaria constituye la razón para la cual está diseñado el activo y por lo general está definida por su propio nombre. Un ejemplo de esta función sería la bomba cuya función primaria será bombear un fluido. (HERNÁNDEZ, 2010 págs. 40-41)

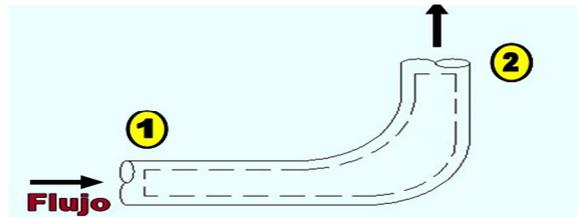


Fuente: <http://www.disaster-info.net/Agua/html/6%20-%20plantas%20de%20tratamiento.htm>

**2.4.1.2 Función secundaria.** Esta función se deriva de la función primaria del activo y es menos obvia de la misma y se puede subdividir en los siguientes tipos de funciones secundarias:

- Contención. Son funciones que permiten transferir material de un sitio a otro que tienen que contener a su vez estos materiales, en especial los fluidos.

Figura 18. Función secundaria de contención de una tubería



Fuente: [http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F\\_DE\\_T-153.htm](http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-153.htm)

- Soporte. Tiene una función estructural como base fundamental.

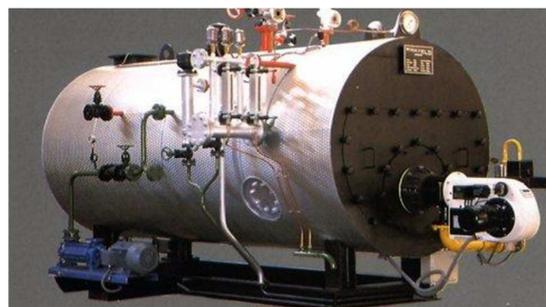
Figura 19. Función secundaria de soporte estructural de una instalación



Fuente: <http://www.casasdemadera-horad.es/wp-content/gallery/cimentacion/z-20120218-114153-92903.jpp>

- Apariencia. Es la función de apariencia específica que envuelve a los activos.

Figura 20. Función secundaria de apariencia de una caldera



Fuente: [http://www.instmanfield.com/es\\_ES/caldera.php?modelo=IFU](http://www.instmanfield.com/es_ES/caldera.php?modelo=IFU)

- Higiene y seguridad. Son funciones que se relacionan con factores de seguridad e higiene del activo.

Figura 21. Función secundaria de higiene y seguridad de una instalación



Fuente: <http://agredadesigns.es.tl/Se%F1alizaci%F2n.htm>

**2.4.1.3 Funciones de protección.** Son las funciones que actúan únicamente cuando las condiciones adversas del activo están ocurriendo y se activan para proteger los sistemas.

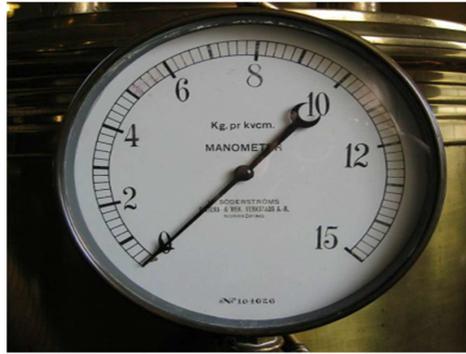
Figura 22. Función de protección de una válvula de alivio de presión



Fuente: <http://www.fullcontrolperu.com/valvula-seguridad.html>

**2.4.1.4 Función de control.** Son funciones de control en los sistemas que se activan bajo señales físicas predeterminadas que realizan el control y las correcciones indicadas previamente. (HERNÁNDEZ, 2010 págs. 42-44)

Figura 23. Función de control del manómetro en una distribución de vapor



Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Manometer\\_104026.jpg](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Manometer_104026.jpg)

**2.4.1.5** *Funciones subsidiaria.* Son aquellas funciones que dependen de otros activos y de las funciones que tienen dichos activos.

Figura 24. Función subsidiaria de un conjunto motor-bomba en paralelo



Fuente: <http://www.lowara.com/lowdata/doc/ES/eng-low-slutlig-ed-es.pdf>

**2.4.2** *Falla funcional.* Es la ocurrencia de la falla y afecta directamente a la funcionalidad del activo dejándolo fuera del propósito de diseño.

**2.4.2.1** *Modos de una falla funcional.* Los modos de falla son las causas que produjeron la falla funcional del activo. En ocasiones en una falla funcional pueden existir más de dos modos de falla. Para tener una ayuda de cómo realizar este análisis de modo de fallo se realiza una pregunta. ¿Qué causó la ocurrencia de esta falla funcional?. Esta pregunta permitirá realizar un análisis profundo de la causa que produjo la presencia de la falla.

Sí la ocurrencia de un determinado modo de fallo afecta de forma directa a la producción o a las operaciones, el grupo de trabajo deberá describir de qué forma clara y específica el impacto que traerá consigo la ocurrencia del modo de falla sobre la producción o las operaciones. Si la aparición de estos modos de falla no es prevenida, se necesitará de gran cantidad de tiempo y esfuerzo para su corrección lo cual afectará de forma negativa a una empresa. (HERNÁNDEZ, 2010 págs. 62-63)

Figura 25. Modo de falla por cavitación del alabe de una bomba



Fuente: <http://www.ahorroenenergia.com/cavitacion-en-las-bombas-de-agua-peligro-de-su-inversion>

**2.4.2.2** *Efectos de un modo de falla funcional.* Los efectos de una falla funcional son aspectos físicos de fácil identificación para determinar la presencia de la falla. Existen modos de fallos evidentes y no evidentes.

Figura 26. Efecto de un modo de fallo por una fuga de la tubería de vapor



Fuente: Autores

- *Los modos de fallo evidentes.* Son aquellos donde la ocurrencia de un fallo es perceptible.

Figura 27. Modo de fallo evidente por fuga de una tubería



Fuente: <http://www.tecnologiasdelagua.es/index.php?seccion=noticias&idnoticia=307>

- *Los modos de fallos no evidentes u ocultos.* En este modo de falla no se sabe si el activo está en estado de fallo al menos hasta que alguna otra falla también ocurra. Por lo tanto no es evidente la ocurrencia de este fallo. Este tipo de fallo por lo general está presente en los equipos de protección de activos y medios donde se necesita protección de activos y personas.

Para evitar este tipo de fallo se debe realizar tareas de mantenimiento con frecuencia de inspección semanal.

Figura 28. Modo de fallo oculto



Fuente: <http://www.fgtransformadores.com/linea4.html>

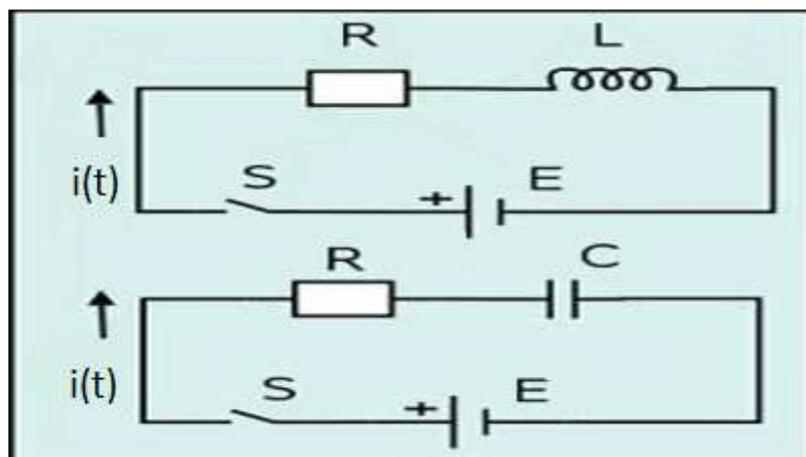
**2.4.2.3** *Consecuencias de falla funcionales.* El análisis de las consecuencias de las fallas funcionales se lo debe realizar en base a los modos de falla funcional. A igual que el modo de falla pueden existir más de dos consecuencias de fallo de un solo modo de fallo.

En las consecuencias de los modos de falla se tiene presente si el modo de fallo es evidente o no es evidente, por lo tanto, se las ha clasificado en:

- *Modos de falla con consecuencias no evidentes u ocultas.* Son aquellas consecuencias que no son evidentes para la ocurrencia de la misma, es decir, están presentes sin mostrar ningún síntoma.

Un caso de este modo de falla es cuando un sensor de humo en un hospital ha estado inutilizado por un largo tiempo, por la presencia misma de los agentes atmosféricos como polvos o impurezas presentes en el medio ambiente, el sensor puede perder su función y en caso de una emergencia éste no puede funcionar. (HERNÁNDEZ, 2010 págs. 69-70)

Figura 29. Modo de falla con consecuencia ocultas en un sistema de control



Fuente: <http://harotecno.wordpress.com/2010/12/13/actividades-con-draw-diseno-y-dibujo-de-circuitos-electricos/>

- *Modos de falla con consecuencias evidentes.* Se dividen en tres tipos que se detallan a continuación:
  1. Modos de falla con consecuencias sobre la seguridad humana y el ambiente, son aquellas fallas donde la ocurrencia de la misma afectan en primer lugar a la seguridad humana (muertes, daño a personas y condiciones inseguras) y en segundo lugar al medio ambiente (incumplimiento de normativas ambientales; internacionales, nacionales y regionales).
  2. Modos de falla con consecuencias operacionales, son aquellas fallas donde la ocurrencia de la misma afecta de forma directa a la operación del activo e incluso a la pérdida funcional de dicho elemento.
  3. Modos de falla con consecuencias no operacionales, son aquellas fallas donde la ocurrencia de la misma afecta de forma indirecta a la operación del activo, es

decir, no paran por completo la función principal que realiza el activo sino en forma parcial.

**2.4.3 Falla potencial.** La falla potencial es una condición física identificable que indica que va a ocurrir por medio de una falla funcional o que está en proceso de ocurrir. (GUTIÉRREZ, 2012)

Esta falla nos permite tomar medidas preventivas y correctivas en un activo que presente las características de deterioro o desgaste.

Figura 30. Falla potencial por fisuras de la brida en la válvula



Fuente: <http://confiabilidad.net/articulos/limpieza-verde-y-confiable/>

**2.4.3.1 Prevención de fallas potenciales.** La prevención de las fallas potenciales van encaminadas a reducir o en lo posible eliminar las consecuencias que tienen una falla potencial, para evitar que el riesgo que genera la consecuencia pueda atentar en serios daños a la vida humana y a la integridad del activo.

Mediante la prevención de falla se puede reducir el grado de incidencia de un factor de riesgo, sin embargo se debe considerar que existen muchos campos de estudio en cuanto se refiere a prevención y dependerá de las condiciones del contexto operación.

## 2.5 Corrosión

La corrosión es el proceso de degradación que sufren los materiales cuando interactúan con el medio en el que trabajan y con la presencia de agentes reaccionantes. Este fenómeno produce pérdidas millonarias a las industrias y como consecuencia al país, puesto que aparecen poco a poco y por lo general se hacen notar cuando un elemento llega a perder su función. (BOLAINA, 2013)

Figura 31. Tubería corroída



Fuente: <http://www.indisaonline.8m.com/anteriores/69.htm>

**2.5.1 Causa de la corrosión.** Para que un problema de corrosión se produzca, es necesario que exista presencia de agua en forma líquida donde los condensados formados en un sistema son muy corrosivos. La degradación de una tubería de vapor depende del oxígeno presente en el sistema, tipo de agua del sistema, velocidad del fluido, pH del fluido, humedad atmosférica, temperatura y el tipo de aleación de la tubería.

**2.5.1.1 Presencia de agua en un sistema de vapor.** El agua es el fluido de trabajo de los sistemas de vapor y una de las sustancias naturales más abundantes, sin embargo, nunca se encuentra en estado puro, adecuado para la alimentación directa de una caldera. Por lo general en estado natural, el agua se encuentra turbia, con materias sólidas en suspensión fina. Incluso cuando está clara, el agua natural contiene soluciones de sales y ácidos que deterioran con rapidez el acero y sus accesorios de los sistemas de vapor.

Las aguas pueden considerarse según la composición de sales minerales presentes en:

- *Agua dura.* En el agua dura se forma una importante presencia de compuestos de calcio y magnesio, poco solubles y principalmente son los responsables de la formación de depósitos e incrustaciones.
- *Agua Blanda.* En el agua blanda su composición principal está dada por sales minerales de gran solubilidad.

- *Agua Neutra.* El agua neutra tiene una formación de una alta concentración de sulfatos y cloruros que no aportan al agua tendencias ácidas o alcalinas, o sea que no alteran sensiblemente el valor de pH.
- *Agua Alcalina.* El agua alcalina se forma de importantes cantidades de carbonatos y bicarbonatos de calcio, magnesio y sodio, los que proporcionan al agua reacción alcalina y elevan en consecuencia el valor del pH presente.

**2.5.1.2 Oxígeno.** El oxígeno disuelto ataca las tuberías de acero al carbono formando montículos, bajo los cuales se encuentra una cavidad o celda de corrosión activa, éstos suele tener una coloración negra, formada por un óxido férrico hidratado.

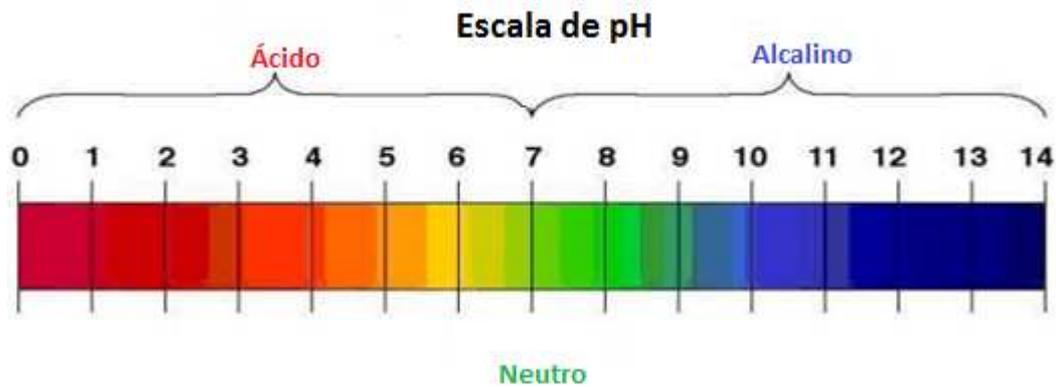
En el ingreso de aire y gases al sistema a bajo valor de pH, el bióxido de carbono por su composición metales y éstos al reaccionar con el oxígeno disuelto en el interior del sistema aceleran la velocidad de la corrosión. Un factor importante también es la dureza del agua y su tipo.

**2.5.1.3 Gases presente en el agua producto del ingreso del aire atmosférico.** Los gases disueltos en el agua, provienen de la atmósfera, producto del desprendimiento de gas constituido de determinado suelos contaminados y en algunas aguas superficiales de la respiración de organismos animales y vegetales. Los gases disueltos que suelen encontrarse son; él oxígeno, nitrógeno y anhídrido carbónico que proceden del arrastres de la atmósfera y lavado por la lluvia, de la descomposición anaeróbica de los hidratos de carbono y de la disolución de los carbonatos del suelo por acción de los ácidos, también pueden aparecer por la descomposición de los bicarbonatos cuando se modifica el equilibrio del agua que las contenga.

Para prevenir este problema existen desaireadores que son dispositivos mecánicos empleados para liberar los gases contenidos en el agua de alimentación (aire, oxígeno, anhídrido carbónico y otros gases).

**2.5.1.4 Presencia de pH en el fluido.** El pH es un indicador del agua muy importante que nos indica sí el agua está en estado básico o ácido, tiene un rango de escala que tiene de 0 a 6, 7 y de 8 a 14. Donde de 0 a 6 es conocido como un pH ácido, 7 es conocido como un pH neutro y de 8 a 14 se conoce como pH básico o alcalino.

Figura 32. Rango del pH de un fluido



Fuente: <http://www.jardineriaon.com/la-importancia-del-ph-en-el-agua-y-en-el-sustrato.html>

La velocidad de corrosión se reduce con un pH fuertemente alcalino, mientras que, con un pH fuertemente ácido avanza a gran velocidad.

- Un pH alto ( $> 10$ ) produce formaciones de lodos insolubles y no adherentes, mientras que un pH bajo forma lodos adherentes.
- El pH se reduce normalmente con ácido clorhídrico ( $\text{HCl}^+$ ).
- El pH se incrementa con sosa cáustica ( $\text{OH}^-$ ).

**2.5.1.5 Velocidad del fluido.** La velocidad del fluido varía según la reducción de las secciones de la línea de distribución de vapor y su caudal. Este factor es muy importante para la degradación del material en caso especial en accesorios donde existe cambio de flujo como; codos y aparatos de control de fluido.

**2.5.1.6 Humedad atmosférica.** El efecto de la humedad atmosférica difiere de la humedad relativa del lugar geográfico donde se encuentra ubicada la instalación.

**2.5.1.7 Temperatura.** La temperatura es un factor que incrementa la velocidad de corrosión de acuerdo a la tendencia de incremento de temperatura. La velocidad de corrosión se duplica cada  $30^\circ\text{C}$  de aumento de temperatura del sistema de vapor.

**2.5.1.8 Tipo de aleación del material.** Para la instalación del sistema de vapor se necesita por diseño un material de gran resistencia mecánica, de alto grado de dureza y elongación. (NETTO, 2007)

**2.5.2 Formas de corrosión.** Existe un sinnúmero de formas de corrosión que se pueden encontrar a diario, a continuación se presenta un clasificación general de los principales tipos.

Tabla 2. Formas de corrosión

CORROSIÓN	CLASIFICACIÓN	SUBCLASIFICACIÓN
Según el medio	Química Bioquímica	
	Electroquímica	Galvánica y electroquímica
Según la forma	Atmosférica o uniforme	Seca, húmeda y mojada
Localizada	Por picado Intergranular Selectiva Daño por hidrógeno	
Según el mecanismo de falla	Por baja tensión Por fatiga Por cavitación Por erosión Por fricción	

Fuente: Autores

**2.5.3 Principales tipos de corrosión en una tubería de vapor.** Las tuberías de vapor al estar sometidas a diversas condiciones ambientales y de operación desarrollan en su interior varios tipos de corrosión que se describen a continuación.

**2.5.3.1 Corrosión atmosférica o uniforme.** El material es atacado sufriendo pérdida de material de una forma uniforme en la superficie. Se produce por un ataque químico o electroquímico en la superficie, perdiendo el material sus características mecánicas. En algunas zonas del material se presenta con mayor pérdida (ver Figura 33).

Figura 33. Corrosión atmosférica



Fuente: [http://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPJA10/g0105\\_spja10.html](http://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPJA10/g0105_spja10.html)

La corrosión atmosférica puede ser clasificada dependiendo de la cantidad de humedad que contengan en:

- *Corrosión seca.* Se produce en los metales que tienen una energía libre de formación de óxidos negativa.
- *Corrosión húmeda.* Requiere de la humedad atmosférica y aumenta cuando la humedad excede de un valor crítico, frecuentemente por encima del 70%.
- *Corrosión por mojado.* Se origina cuando se expone el metal a la lluvia u otras fuentes de agua.

Factores que influyen en la corrosión atmosférica:

- Presencia de oxígeno que cumple con la función de agente oxidante en el proceso de corrosión y actúa como despolarizador de cátodos.
- Humedad relativa puesto que existe corrosión cuando la humedad crítica relativa está en el rango de 50 y 70 % para el acero, cobre, níquel y zinc. Caso contrario cuando la humedad crítica relativa está por debajo de este rango no existe corrosión.
- Temperatura es un factor donde la humedad relativa aumenta cuando la temperatura baja.
- Contaminantes atmosféricos que están presentes en la atmósfera, incrementan la velocidad de corrosión, los principales contaminantes son; el cloruro de sodio, óxido de azufre y el sílice. Un metal pierde su efectividad de acuerdo al tipo de atmósfera presente en la ubicación de la instalación. (CABRERA, 2008 pág. 32)

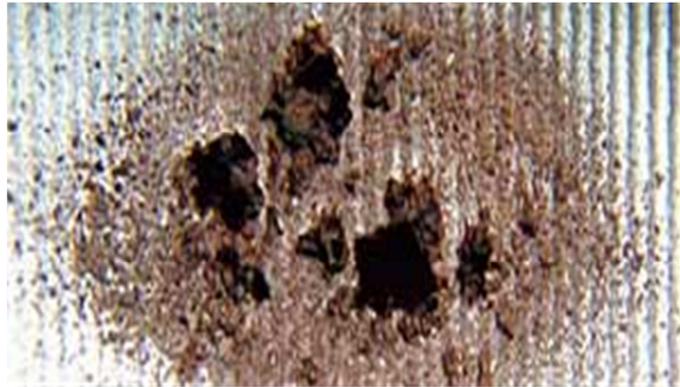
Tabla 3. Atmósferas naturales en diferentes medios

<b>ATMÓSFERAS NATURALES</b>	
<b>Atmósferas</b>	<b>Características</b>
Rural	Aire sustancialmente libre de impurezas.
Urbana	Aire contaminado por dióxido de azufre, hollín y polvo.
Marina	Alta humedad y sal.
Industrial	Presencia de gases como: dióxido de azufre, hidróxido de azufre, gas carbónico.

Fuente: CABRERA Raúl, Corrosión. p.32

**2.5.3.2** *Corrosión por picaduras.* Este tipo de corrosión se produce por la existencia de una pequeña zona anódica ante otra zona catódica grande, la corrosión se concentran en la zona anódica hasta llegar incluso a la perforación del metal (ver Figura 34).

Figura 34. Corrosión por picadura

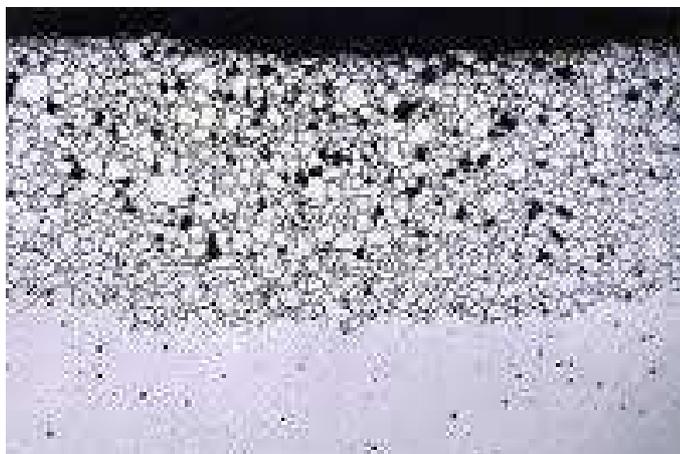


Fuente: [http://maquinasdebarcos.blogspot.com/2009\\_01\\_01\\_archive.html](http://maquinasdebarcos.blogspot.com/2009_01_01_archive.html)

**2.5.3.3** *Corrosión intergranular.* Se presenta cuando en los bordes de grano (éstos se forman en el proceso de cristalización de metales) hay un empobrecimiento del componente de la aleación.

El ataque se presenta cuando el borde del grano es anódico respecto al grano en si (pequeña área anódica ante el área catódica grande), ésta a la vez pierde sus características mecánicas del material aumentando el volumen inicial del material (ver Figura 35).

Figura 35. Corrosión intergranular



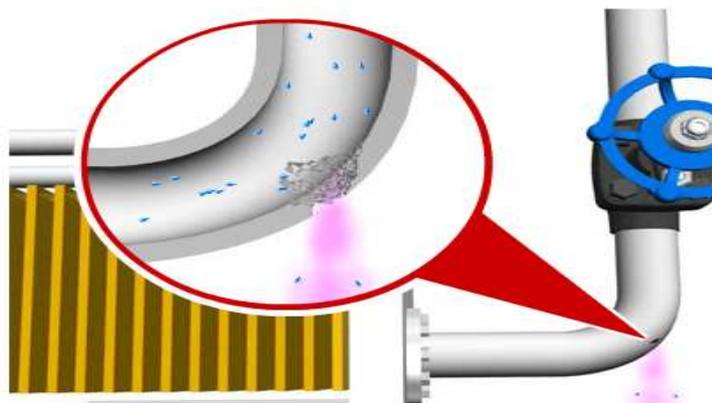
Fuente: <http://www.met-tech.com/images/power-3.jpg>

**2.5.3.4 Corrosión por cavitación.** Este tipo de corrosión se produce por el choque de las burbujas que se forman en ciertos puntos donde la presión local es inferior a la presión del fluido de vapor, en especial en cambios bruscos de la dirección del fluido.

Cuando las burbujas chocan con las paredes internas de la tubería se produce esfuerzos muy altos en un rango elevado de presión, debido a que la condensación de las burbujas de vapor se efectúan a velocidades considerables y el momento de finalizar la condensación se produce un choque hidráulico contra la pared interior que puede ser muy destructiva a lo largo de la operación diaria del sistema, por consiguiente poco a poco empezará a fisurar o fracturar el elemento.

Este tipo de corrosión se manifiesta por el sonido del choque de las burbujas contra la pared y que está acompañado de una pequeña vibración, en general se produce por el golpe de ariete presente en el sistema (ver Figura 36).

Figura 36. Corrosión por cavitación



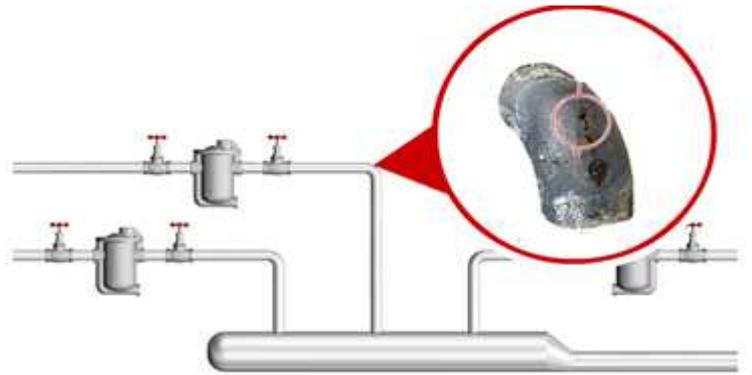
Fuente: <http://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/piping-erosion.html>

Origen de la corrosión por cavitación:

- Al disminuir la presión sobre el flujo en un punto, éste se evapora formando burbujas.
- Al aumentar la presión sobre el flujo en el mismo punto, las burbujas se rompen produciendo ondas de choque que alcanzan a generar altas presiones.
- Se forma una superficie corroída sobre el punto, que genera una película.
- Se desprende ésta película, perdiendo masa del material en ese punto.
- Se forman nuevas burbujas y se repite el proceso. (CABRERA, 2008 págs. 39-40)

**2.5.3.5 Erosión.** La erosión es el nombre que recibe el proceso físico de desgaste gradual de una superficie sólida debido a la abrasión en la circulación de flujo de vapor. La erosión de tuberías de vapor y condensado se trata de un problema común en las plantas, al grado que en algunas secciones de la tubería que son erosionadas causan importantes fugas de vapor (ver Figura 37).

Figura 37. Corrosión por erosión



Fuente: <http://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/piping-erosion.html>

La erosión causa el adelgazamiento de la pared de la tubería, lo que eventualmente provocará perforaciones en ella, provocando la fuga de vapor hacia el exterior y constituye un serio problema de seguridad. (PEÑA, 2013)

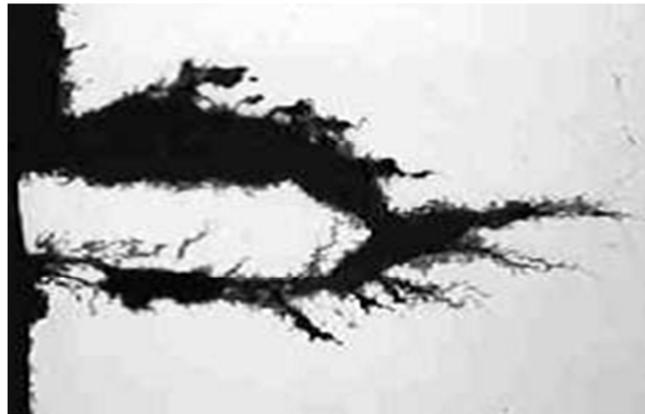
Factores que influyen éste tipo de corrosión:

- Presencia de sólidos en suspensión que ejercen una acción abrasiva que producen el deterioro de las capas protectoras del material en las superficies que se encuentran los sólidos en suspensión.
- Flujo turbulento del fluido en el cual la velocidad considerable del flujo turbulento produce el adelgazamiento de las paredes protectoras del material.
- Grado de agresividad del fluido corrosivo que contribuye a la formación de celdillas y formación de canales en la pared del metal. Por defecto el material es removido de su superficie.
- La corrosión por erosión se produce por la rotura de la capa protectora del material. Los materiales más susceptibles a este tipo de corrosión son; la tubería de distribución horizontal, válvulas y distribución de sección tipo T. (CABRERA, 2008 pág. 40)

### 2.5.3.6 Agrietamiento

- *Por sobrecalentamiento de corta duración.* Se presenta una importante expansión del elemento, las superficies de grieta son delgadas, producto del alargamiento del material. Se produce por la ausencia del flujo de vapor y sobrecalentamiento de la tubería a más de 650°C.

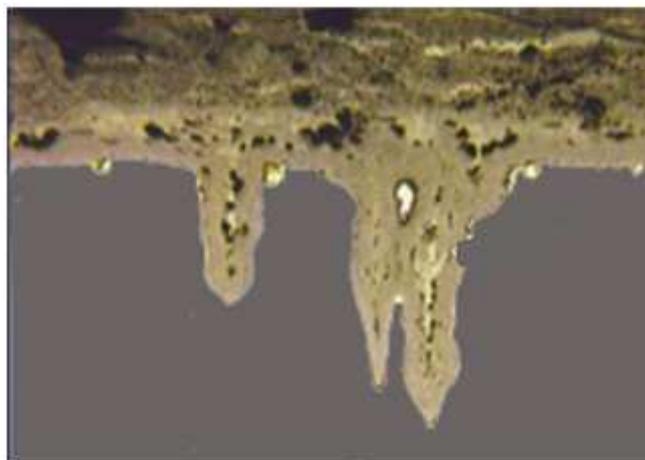
Figura 38. Corrosión por agrietamiento de sobrecalentamiento de corta duración



Fuente: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2012/07/26/7-aceros-inoxidables/>

- *Sobrecalentamiento de larga duración.* Se produce por un sobrecalentamiento continuo de la tubería a una temperatura de 600°C. A causa de la formación de depósitos corrosivos en el interior de las tuberías que las aíslan térmicamente. (ESPEJO, y otros, 2011)

Figura 39. Corrosión por agrietamiento de sobrecalentamiento de larga duración



Fuente: <http://metfusion.wordpress.com/2013/08/20/fatiga-termica/>

**2.5.3.7 Corrosión por fatiga.** Se genera por las cargas cíclicas del sistema proveniente de ciclos de presiones, vibraciones y ciclos térmicos. Es decir por ciclos de presión fuera de los parámetros de diseño, concentradores de esfuerzos como; Juntas soldadas, esfuerzos residuales de fabricación, errores de diseño o durante el montaje, dilataciones, contracciones térmicas, un ambiente sumamente corrosivo y un inadecuado tratamiento del agua para ser transformado en vapor. (CABRERA, 2008 pág. 38)

## **2.6 Reseña histórica de la empresa Bioalimentar**

La empresa BIOALIMENTAR Cía. Ltda. de la familia Garzón, fue constituida por la Superintendencia de Compañías y el SRI respectivamente. Desde su creación se ha especializado en nutrición animal y humana, ofreciendo soluciones de calidad en toda la cadena agroalimentaria. Su trabajo y experiencia fortalece el desarrollo del país con una importante participación en la economía nacional.

La empresa busca el crecimiento de sus clientes para quienes la productividad es fundamental, progresando con ellos en nutrición animal y humana, generando valor económico a la nación con profesionalismo e innovándose para cubrir las necesidades pecuarias actuales y futuras. Entre sus propósitos están que sus distribuidores triunfen y alcancen sus objetivos de negocio. Para ello sus clientes cuentan con respaldo, especialización en nutrición, sanidad animal y experiencia en el servicio técnico que incrementen la productividad y disminuyan los costos, ayudando tanto al pequeño y mediano sector mediante la aplicación de herramientas actuales y seguras.

## **2.7 Misión y visión de la empresa**

### *Misión*

Transformar con pasión nuestro trabajo en alimentos que brinden salud y bienestar para nuestros clientes y colaboradores.

### *Visión*

En el año 2020, quienes conformamos BIOALIMENTAR, seremos la empresa agroalimentaria más eficiente y rentable del Ecuador, con presencia en el mercado internacional.

## 2.8 Relación Empresa – Universidad

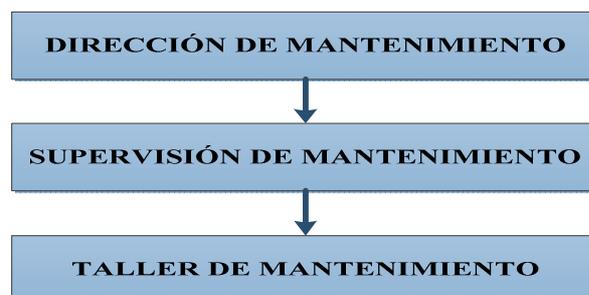
Dentro del marco Empresa - Universidad se ha establecido la necesidad de crear lazos de cooperación que permitan contribuir en desarrollo técnico y económico del país. Es así que mediante un análisis técnico de los bienes que posee dicha institución se propuso realizar un diagnóstico de sus líneas de distribución de vapor, involucrando para tal efecto al personal técnico que labora en la institución. Al momento la planta cuenta con tres calderos de 60 BHP, 90 BHP y 150 BHP que producen vapor tanto para las áreas de extrusión y peletizado que están distribuidas en toda el área de producción a través de dos líneas principales.

Durante el tiempo de funcionamiento de estas líneas, solo se ha realizado un mantenimiento correctivo en las áreas que tiene la planta, además se debe señalar que por dichas tuberías se alcanzan presiones de hasta 120 Psig, siendo estos valores de presión un tanto peligrosos en cuanto se refieren a la seguridad del personal técnico que labora en producción. Actualmente no se conoce mediante un criterio técnico el estado actual de las líneas de distribución de vapor, por lo que se vio la necesidad de realizar un análisis que permita conocer la cantidad de erosión o corrosión que se ha producido a través del tiempo y buscar la manera de minimizar su velocidad de crecimiento.

## 2.9 Estructura organizacional del departamento de mantenimiento

EMPRESA BIOALIMENTAR  
DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO  
ORGANIGRAMA ESTRUCTURAL

Figura 40. Estructura organizacional del mantenimiento



Fuente: Departamento de Mantenimiento de la Empresa Bioalimentar

## 2.10 Ubicación geográfica

La empresa BIOALIMENTAR es una empresa 100% ecuatoriana, estratégicamente ubicada en la Provincia de Tungurahua, Cantón Ambato, Parroquia Izamba, Parque Industrial IV etapa Avenida Panamericana Norte.

Figura 41. Ubicación geográfica de Bioalimentar



Fuente: <http://www.bioalimentar.com/index.php/nosotros/nuestras-instalaciones>

Figura 42. Localización de Bioalimentar



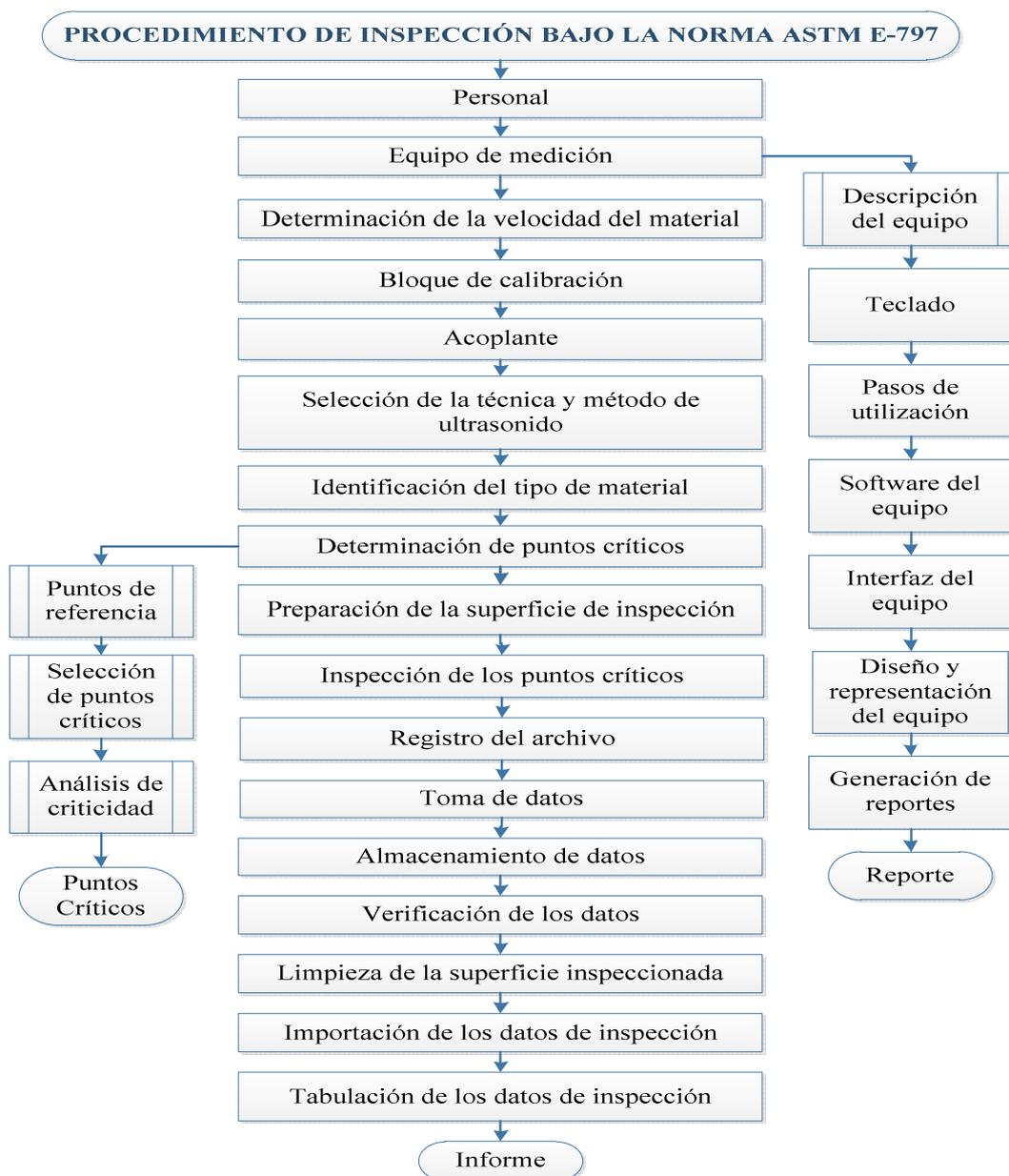
Fuente: Google maps

## CAPÍTULO III

### 3. PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO

Los requerimientos para el procedimiento de inspección de espesores por ultrasonido bajo las especificaciones de la norma ASTM E-797 se detallan a continuación:

Figura 43. Procedimiento de inspección bajo la norma ASTM E-797



Fuente: Autores

### 3.1 Requerimientos la inspección bajo la norma ASTM E-797

**3.1.1 Personal.** El personal que va a llevar a cabo este tipo de inspección debe tener la capacidad de realizar operaciones como; calibrar el equipo, ejecutar la inspección, registrar y clasificar los resultados en términos escritos y por último realizar el informe de los resultados. Los informes serán ejecutados por los autores del proyecto bajo la asesoría y dirección dos profesores de alta experiencia práctica e investigativa en el campo de los ensayos no destructivos.

**3.1.2 Determinación de la velocidad de inspección.** Existen dos maneras de determinar la velocidad de propagación de ultrasonido en el material. La primera forma consiste en consultar en los catálogos la velocidad de propagación que tiene el material, realizado esto simplemente se puede introducir manualmente el valor de la velocidad en el equipo y realizar las mediciones que se crea conveniente.

Tabla 4. Velocidad acústica de algunos materiales

Material	V (pulg./ $\mu$ s)	V (m/s)
Resina acrílica (Perspex)	0,107	2730
Aluminio	0,249	6320
Berilio	0,508	12900
Latón, naval	0,174	4430
Cobre	0,183	4660
Diamante	0,709	18000
Glicerina	0,076	1920
Inconel	0,229	5820
Hierro fundido (lento)	0,138	3500
Hierro fundido (rápido)	0,220	5600
Óxido de hierro (magnetita)	0,232	5890
Plomo	0,085	2160
Polimetilmetacrilato	0,106	2680

Fuente: OLYMPUS, Manual del usuario, Medidor de espesores por ultrasonido, 45MG

Vale señalar que el método no es recomendado debido a que los valores de dichos elementos determinados en los catálogos son valores aproximados y también son considerados en materiales que no están expuestos a ninguna condición de trabajo.

La segunda forma consiste en determinar la velocidad del material que se desea ensayar y necesariamente requiere de dos espesores de dicho material, en si el equipo de medición tiene la facilidad de medir la velocidad con cual se propaga la onda de ultrasonido en el material. Para esto es necesario poseer dos placas del mismo material a ensayar; uno de espesor mayor y otro de un espesor menor al espesor nominal del material que se requiere ensayar. Constituye la forma correcta de realizar la determinación de la velocidad de propagación, puesto que se emplea el mismo material que se desea ensayar, es decir, se elabora en un material que se halla sometido a las diversas condiciones de servicio como; humedad, presión y temperatura.

**3.1.3** *Bloque de calibración.* Antes de proceder a realizar la medición de espesores en las tuberías de distribución que conducen vapor es necesario realizar un bloque de calibración según las especificaciones de la norma ASTM E- 797, siendo necesario realizarlo bajo las especificaciones técnicas descritas en la norma, puesto que, constituye el parámetro principal bajo el cual estará elaborado el informe de resultados obtenidos en la medición.

Figura 44. Bloque de calibración de cinco espesores



Fuente: <http://es.aliexpress.com/store/638147>

**3.1.4** *Palpador.* Se utiliza una unidad de búsqueda o palpador de acuerdo al tipo de material a inspeccionar. Éste tiene la capacidad de leer secciones delgadas menores de 0,6mm (0,025 in), por lo general, se utiliza un palpador de alta frecuencia (10 MHz o superiores) para una muy alta resolución del equipo.

El tipo de palpador que se empleará en la inspección es el modelo D 790/791 que presenta una alta frecuencia.

**3.1.5 Acoplante.** Se emplea un medio acoplador (gel, glicerina, aceite SAE 20) con el objetivo de obtener un contacto acústico regular entre el material y el palpador, para lograr una transferencia eficaz y una señal acústica uniforme.

Figura 45. Acoplante utilizado en inspección



Fuente: <http://www.fanaticosdelhogar.com/profiles/blogs/jerseys-suaves>

**3.1.6 Equipo de inspección para ultrasonido.** Según la norma ASTM E-797 existe 3 tipos de equipos para la medición de espesores que están clasificados de la siguiente manera:

- Detectores de defectos con lectura CRT.
- Detectores de defectos con CTR.
- Lectura directa de espesores.

Para este caso se ha seleccionado el tercer equipo para la realización de este proyecto, debido a la facilidad de lectura que presenta el equipo y a su vez éstos son diseñados para la medición de espesores. Los instrumentos de lectura de espesor directo son equipos de versiones modificadas del método pulso-eco.

El tiempo transcurrido entre el pulso inicial y el primer eco de retorno se convierte en lecturas digitales para el equipo y son diseñados para la medición de espesores.

El instrumento cuenta con un control automático de la ganancia del palpador para producir una amplitud constante de reflexión posterior de la onda para evitar errores de lecturas debido a que la ganancia del palpador se va desgastando en cada medición.

Para el presente trabajo se empleará un equipo de medición de la marca Olympus específicamente el modelo 45MG y su software de interfaz GageView, equipos que cuentan con su respectiva certificación para realizar las inspecciones no destructivas.

### 3.2 Descripción del equipo de medición de espesores por ultrasonido 45MG

**3.2.1 Instrucciones de funcionamiento del fabricante del instrumento.** La aplicación del equipo con un palpador permite medir todo tipo de espesor en materiales de cualquier tipo como; aceros, hierros fundidos, cobres, bronce, aluminio, porcelanas, vidrios, cauchos y otros materiales. Los requisitos de precisión dependen del tipo de palpador y el método de inspección utilizado. La precisión del palpador dual es de 0,020mm y del método de ultrasonido para medición de espesores es 0,002 mm.

Para la elaboración de informe de medición de espesores se utilizó un equipo Model 45MG Operation Training, que presenta varios componentes para un análisis efectivo.

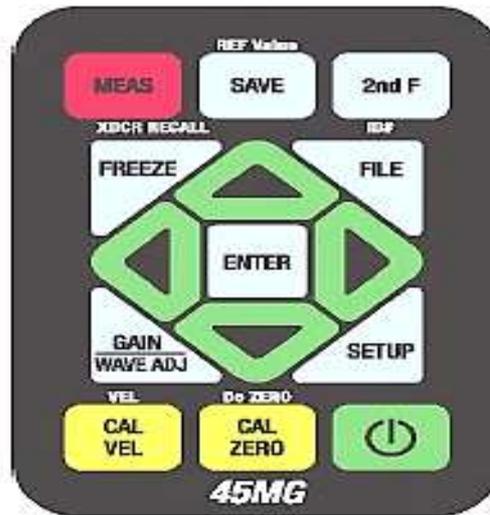
Figura 46. Equipo de medición de espesores 45MG



Fuente: OLYMPUS, Manual del usuario, Medidor de espesores por ultrasonido, 45MG

**3.2.2 Teclado del equipo 45 MG.** Presenta un teclado táctil de fácil manejo e interpretación (ver Figura 47).

Figura 47. Teclado del equipo



Fuente: OLYMPUS, Manual del usuario, Medidor de espesores por ultrasonido, 45MG

Las teclas de dirección [↶], [↷], [↵] y [↷] y la tecla enter se utilizan para seleccionar los parámetros de los menús en las pantallas y modificar los valores.

Figura 48. Funciones del teclado del equipo

Inglés	Símbolos internacionales	Funciones de:
		Medición: termina la operación en curso y regresa a la pantalla de medición.
		Código de identificación: da acceso a varias funciones relacionadas a los códigos de identificación de las medidas de espesor.
		Archivo: da acceso al menú de gestión de los archivos (abrir, consultar, crear, copiar, modificar, borrar, enviar, importar, exportar, copiar nota, memoria e informe).
		Función secundaria: esta tecla debe ser pulsada antes de aquella cuya función secundaria se desea activar.
		Guardar: almacena una medición y la señal (opcional) que corresponde al número de ID.
		Congelación: causa la retención inmediata de la visualización de la pantalla o de la señal hasta que la tecla sea pulsada nuevamente.
		Ganancia: permite el ajuste del valor de la ganancia cuando se utiliza los palpadores duales. Ajuste del A-scan: muestra sucesivamente en la pantalla los parámetros del A-scan que contienen un valor modificable.
		Enter (Aceptar): selecciona el elemento resaltado o acepta el valor introducido.

Fuente: OLYMPUS, Manual del usuario, Medidor de espesores por ultrasonido, 45MG

**3.2.3** *Primeros pasos que se deben realizar en el equipo.* Para proceder a utilizar el equipo se necesita realizar los siguientes pasos cada vez que se disponga a utilizar el equipo.

**3.2.3.1** *Encendido del equipo.* Realice los siguientes pasos:

- Coloque el palpador en el equipo de medición 45MG.
- Presione el botón  por 3 segundos.
- Retire el acoplante que pudo haber quedado sobre el palpador en las inspecciones anteriores.

También es necesario realizar la calibración de compensación del palpador así como la calibración de velocidad de propagación en el equipo.

**3.2.3.2** *Calibración de compensación del cero del palpador.* Esta calibración se realiza cuando se enciende el dispositivo, mediante esta calibración se compensan las pérdidas micrométricas que se da en el palpador una vez que se ha realizado una operación de medición en espesores. Los pasos que se deben realizar son:

- Presione la tecla [2da F] y seguidamente [Cal Zero].
- Espere por 5 segundos hasta que el equipo proceda a compensar las pérdidas.

**3.2.3.3** *Calibración de la velocidad de propagación del sonido en el material.* Para realizar esta calibración utilice dos espesores de diferente medida y de un mismo material del cual va a realizarse el ensayo según las especificaciones descritas en la norma ASTM E-797. Proceda a realizar los siguientes pasos:

- Vierta una cantidad de acoplante que cubra la superficie de menor espesor.
- Coloque el palpador en la superficie de menor espesor y presione [Cal Zero].
- Espere hasta que la lectura en la pantalla se estabilice y presione enter.
- Modifique el valor del espesor con las teclas de dirección para que corresponda a un espesor mínimo conocido del bloque de calibración.
- Retire al acoplador del bloque de calibración.
- Vierta acoplante sobre la superficie de mayor espesor del boque de calibración.
- Coloque al palpador sobre la superficie de mayor espesor y presione [Cal Vel].
- Espere hasta que la lectura en la pantalla se estabilice y presione enter.

- Modifique el valor del espesor con las teclas de dirección para que corresponda a un espesor mayor conocido del bloque de calibración.
- Presione la tecla [meas] para regresar a la pantalla de medición.

**3.2.4** *Tipos de archivos que se pueden seleccionar en el equipo.* Se puede elegir entre varias formas del tipo de archivo, pero todo depende de la aplicación donde se vaya a realizar la práctica.

**3.2.4.1** *Archivo de tipo incremental.* El cual posee un código de ID de inicio de valor alfanumérico de 20 caracteres que incrementan automáticamente de acuerdo a las siguientes condiciones:

- Solo se incrementan signos y letras, pero no signos de puntuación.
- El incremento empieza por la derecha.
- El incremento va hacia la izquierda, hasta el primer signo de puntuación, carácter especial o último carácter de la izquierda.
- El incremento de los dígitos es 0,1,2,...,9. La transición del 0 al 9 se realiza solamente después de incrementar el carácter de la izquierda.
- El incremento de las letras es A,B,C,...,Z. La transición de Z a A se realiza solamente después de incrementar el carácter de la izquierda (ver Tabla 5).

Tabla 5. Ejemplos de archivos de tipo incremental

ID DE INICIO	Código de ID resultante
I	1, 2, 3,..., 9
0001	0001                      0010 ... 0003                      9999 ... 0009
ABC	ABC                      ACA ABD                      ACB ABE                      ACC ... ABZ                      ZZZ
1A	1A                      A 1B                      2B 1C                      ... ... 1Z                      9Z
ABC*12*34	ABC*12*34 ABC*12*35 ABC*12*36 ... ABC*12*99

Fuente: OLYMPUS, Manual del usuario, Medidor de espesores por ultrasonido, 45MG

**3.2.4.2** *Archivo tipo secuencial.* Este archivo es similar al tipo incremental, pero es posible definir el código ID de inicio y el código ID de fin. El archivo resultante contiene los puntos de inicio y de fin, así como los puntos incrementales intermedios. Se presentan varios ejemplos de este tipo de archivo (ver Tabla 6).

Tabla 6. Ejemplos de archivos tipo secuencial

ID DE INICIO	ID DE FIN	Código de ID resultante
ABC123	ABC135	ABC123 ABC124 ABC125 ... ABC135
XY-GY	XY-IB	XY-GY XY-GZ XY-HA ... XY-IB

Fuente: OLYMPUS, Manual del usuario, Medidor de espesores por ultrasonido, 45MG

**3.2.4.3** *Archivo de tipo matriz 2D.* Consiste en una secuencia de códigos ID de medidas que describen un camino en una matriz de dos dimensiones. Cada parte del código corresponde a una dimensión particular de la matriz. La secuencia 2D comienza con el código ID relacionado a la primera columna y a la primera fila. Luego la secuencia incrementa un número a la vez hasta la última columna mientras que el valor de la otra dimensión permanece constante. Seguidamente, la otra dimensión incrementa desde el primer valor hasta el último. El incremento continúa hasta el código ID de la última columna o fila. Es posible seleccionar entre iniciar por columnas y filas.

**3.2.4.4** *Archivo de tipo caldera.* Es un archivo específico a las aplicaciones de inspección de calderas. Es un método común para identificar las ubicaciones de las medidas de espesor que emplea la siguiente secuencia:

- Elevación. La primera dimensión está asociada a la distancia física desde la parte inferior hasta la superior de la caldera.
- Número de tubos. La segunda dimensión está asociada al número de tubo de la caldera bajo ensayo.
- Puntos personalizados. La tercera dimensión está asociada al punto de medida. Es decir, la ubicación de la medida de espesor real tomada a la elevación específica.

La combinación de estas tres dimensiones genera un código ID único que permite identificar con precisión la ubicación exacta de cada medida de espesor. Se puede crear un archivo donde se incrementa primero los puntos, después, el número de tubos y finalmente la elevación (ver Tabla 7).

Tabla 7. Ejemplos de códigos de ID resultantes del archivo tipo caldera

Elevaciones	Tubo de inicio	Tubo de fin	Puntos personalizados	Código de ID resultante
10FT	01	73	L (izquierdo)	10FT-01L
20FT			C (centro)	10FT-01C
45FT			R (derecho)	10FT-01R
100FT				10FT-02L
				...
				10FT-73R
				20FT-01L
				...
				100FT-73R

Fuente: OLYMPUS, Manual del usuario, Medidor de espesores por ultrasonido, 45MG

La estructura de este tipo de archivo permite asociar una dimensión de la matriz a las piezas físicas que serán sometidas al ensayo de medición de espesor de la pared.

**3.2.5 Pasos para crear un primer archivo.** Para realizar un registro de datos es necesario crear un archivo en el equipo que permita organizar las mediciones que se han realizado. Para esto se debe seguir los siguientes pasos que se detallan a continuación:

- En el teclado del equipo presione el botón [FILE], a continuación selecciona la opción CREAR.
- En el parámetro “Nombre del archivo” introduzca un nombre que no exceda los 32 caracteres.
- En el parámetro “Descripción” introduzca un nombre que tenga relación al nombre del archivo que puede ser un área específica en la que se vaya a ensayar.
- En el parámetro “Id del operador” introduzca el nombre del personal que realiza la operación.
- En el parámetro “Notas del lugar” describa brevemente aspectos relevantes que note en el lugar donde realiza las inspecciones.

- En el parámetro “Tipo de archivo” seleccione un archivo de acuerdo a la aplicación que vaya a realizar.
- Proceda a ajustar “Protección contra borrado o apagado”, opción que nos permitirá que un archivo no sea eliminado por terceros.
- Presione la tecla [MEANS] para regresar a la pantalla de medición.

**3.2.6** *Software de medición GageView.* El Gage View Software es un programa que nos permite transportar los datos de medición desde el equipo hacia un Pc, con la finalidad de poder evaluar los puntos, donde tenemos un registro completo de todos los datos y parámetros de acuerdo a la elaboración del informe. El software de interfaz viene incluido con:

*Opción registrador de datos.*

- Almacenamiento interno de 475000 lecturas de espesor ó 20000 A – scan con lectura del espesor.
- Nombres de archivos de 32 caracteres.
- Código de identificación de 20 caracteres (formato TML).
- Archivos en 6 formatos; incremental, secuencial, secuencial con puntos personalizados, matriz bidimensional, calderas y manual de Gage View (de Pc).
- Tarjeta de memoria MicroSD interna y extraíble.
- Transferencia de archivos entre la tarjeta MicroSD interna y extraíble.
- Comunicación estándar USB.
- Configuración de importación y exportación del palpador monocristal.
- Informes estadísticos en la pantalla del medidor.
- Matriz de la base de datos en tres colores seleccionables.
- Comunicación del software de interfaz GageView con el 45MG al usar el puerto USB o al escribir o leer los documentos en la tarjeta de memoria MicroSD.
- Exportación directa de los archivos registrados en la memoria MicroSD hacia un documento compatible CSV, Excel o de formato .txt.

**3.2.7** *Interfaz del software GageView.* Presenta un sinnúmero de características que se detallan a continuación:

Comprende la opción del registrador de datos:

- Colección, creación, impresión y administración de datos del 45MG.
- Creación de información de datos y de inspección.
- Modificación de los datos inspeccionados.
- Visualización de los informes de datos y de inspección (lecturas de espesor, configuración del medidor y del palpador).
- Descarga y carga de los informes de espesor.
- Exportación de los informes hacia hojas de cálculo y otros programas.
- Recopilación de las lecturas de pantallas.
- Impresión de informes que incluyan las medidas, tablas de configuración, estadísticas y tablas de colores.
- Actualización del software operativo.
- Descarga y carga de archivos de configuración de palpadores monocristales.

**3.2.8** *Instalación de software en Pc.* El software es compatible con sistemas operativos como Windows 2000, XP y Vista 7.

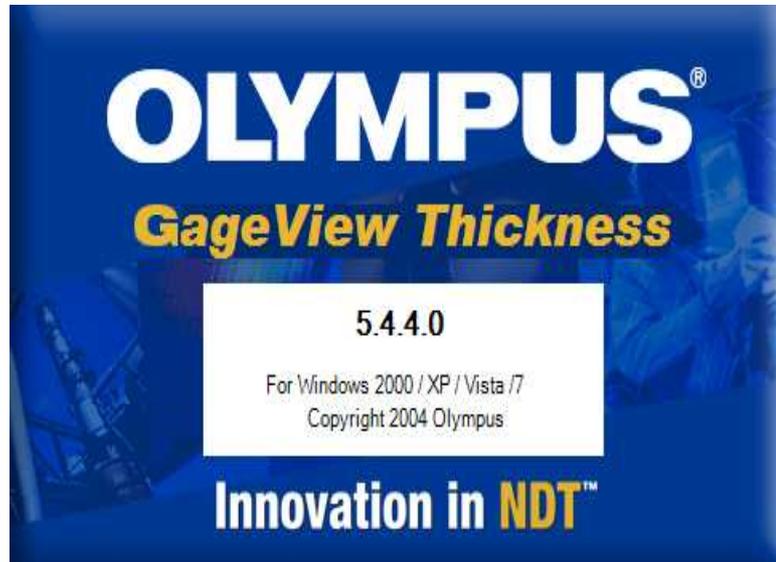
Los pasos necesarios para instalar el software en un Pc se detallan a continuación:

- Coloque el CD en el CD-ROM drive.
- Se abrirá la ventana de instalación del GageView, click en “Accept” para proceder con la descarga.
- Una segunda ventana de instalación de GageView se abrirá preguntándole para la instalación de Visual C++ Runtime Libraries, click en “Accept” para proceder.
- Se abre la ventana de Windows Tipo Wizard, click en “Next” para seguir el procedimiento.
- Elija la carpeta donde se instalará el software GageView (C:\ Archivos de Programa\ Olympus NTD \ GageView Thickness), click en “Next” para continuar.
- Finalmente se abre la ventana de confirmación de instalación, click en “finish” para completar la instalación.

**3.2.9** *Diseño y presentación.* Al abrir el icono de software se abrirá una imagen que le permitirá realizar todos los informes para los procesos de análisis con los datos obtenidos por medio del equipo 45MG.

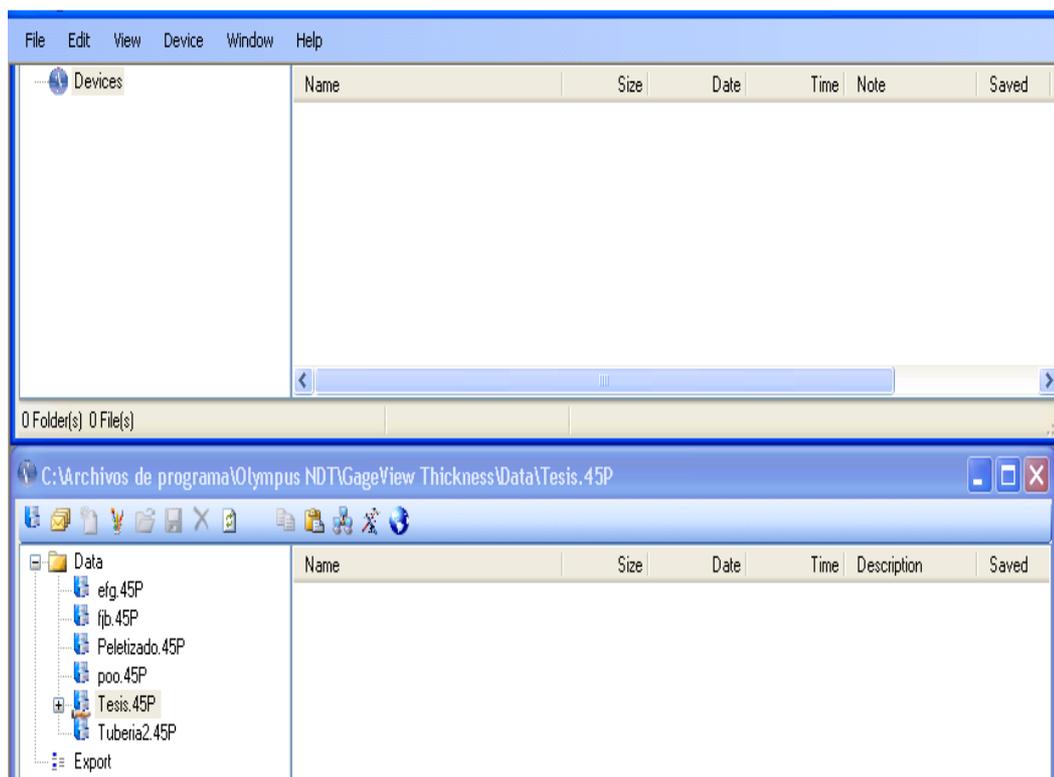
En la página principal del software la pantalla superior representa al equipo de medición de espesores, mientras que la pantalla inferior representa el software GageView que nos permite realizar la evaluación de los resultados obtenidos.

Figura 49. Diseño y presentación del software GageView



Fuente: Autores

Figura 50. Presentación de la página principal del software GageView

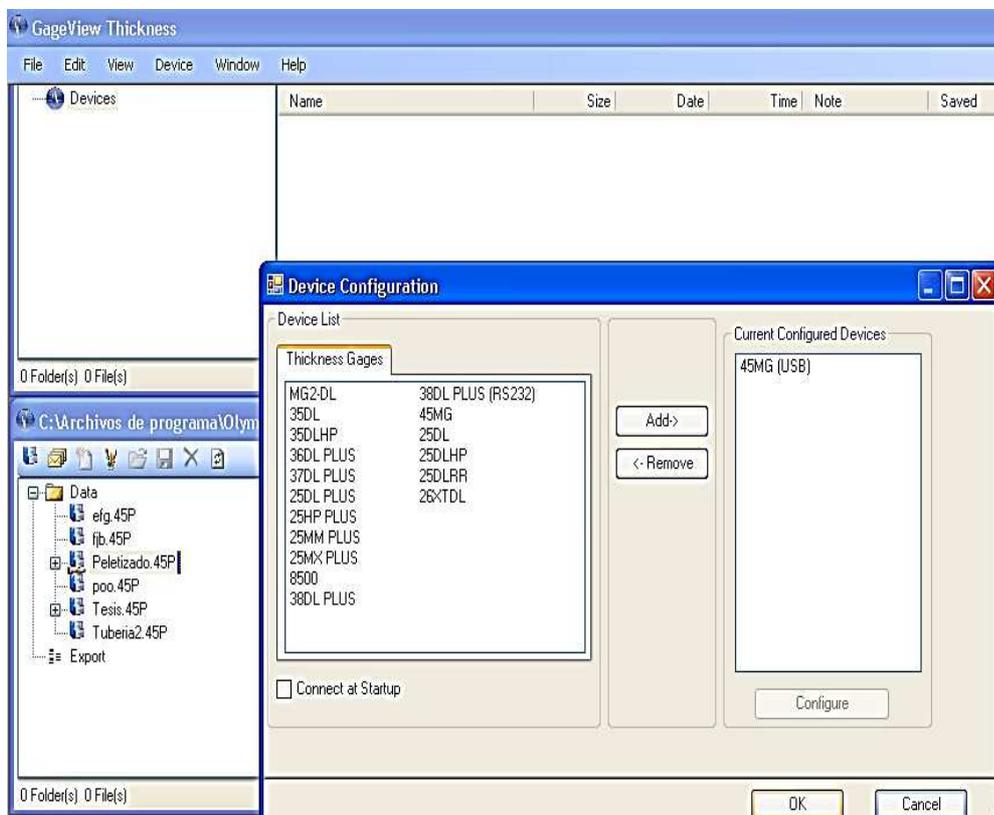


Fuente: Autores

**3.2.9.1** *Proceso para el análisis de espesores en software GageView.* Una vez abierta la página principal es necesario realizar los siguientes pasos:

- En la barra de menú de la pantalla superior haga “click” en Device.
- Seguidamente presione en configuración.
- Espere la búsqueda del dispositivo hasta que aparezca una pantalla como se muestra (ver Figura 51).
- Seleccione la opción 45MG.
- Presione OK y espere un tiempo mientras el equipo se carga.

Figura 51. Procedimiento de búsqueda del equipo en software GageView

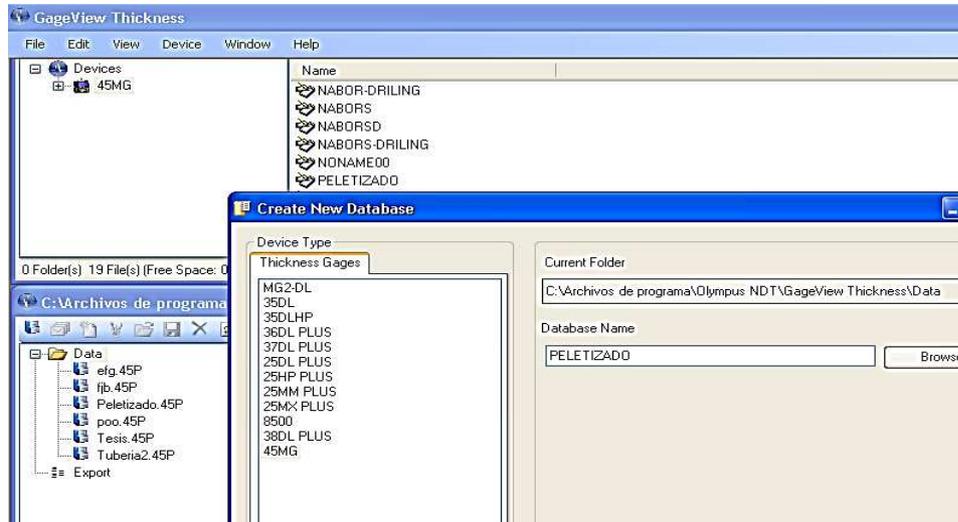


Fuente: Autores

- Una vez realizada las operaciones anteriores haga “click” en el símbolo  de la pantalla principal.
- Aparecerá todos datos que contiene el equipo de medición 45MG.
- Proceda a crear un documento nuevo en la pantalla secundaria del equipo dando “click” en el botón  (ver Figura 52).
- Seleccione en Thickness Gages la opción 45MG.

- Cree una carpeta en Database Name o seleccione una ya creada previamente a través de Browse en la pantalla secundaria del software y seleccione OK.

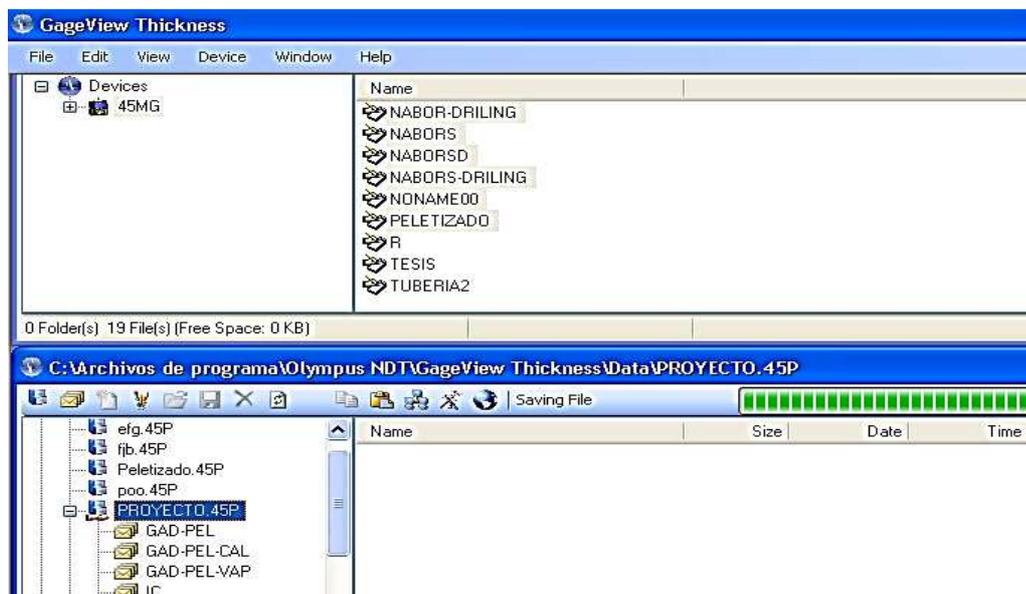
Figura 52. Creación de una carpeta para análisis de espesores



Fuente: Autores

- Arrastre el tipo de archivo que se desea analizar desde la ventana superior hasta la nueva carpeta creada en la ventana secundaria del software.
- Finalmente haga “click” en el documento que desee abrir y obtendrá una imagen similar a la que se muestra a continuación (ver Figura 53).

Figura 53. Análisis de espesores por software



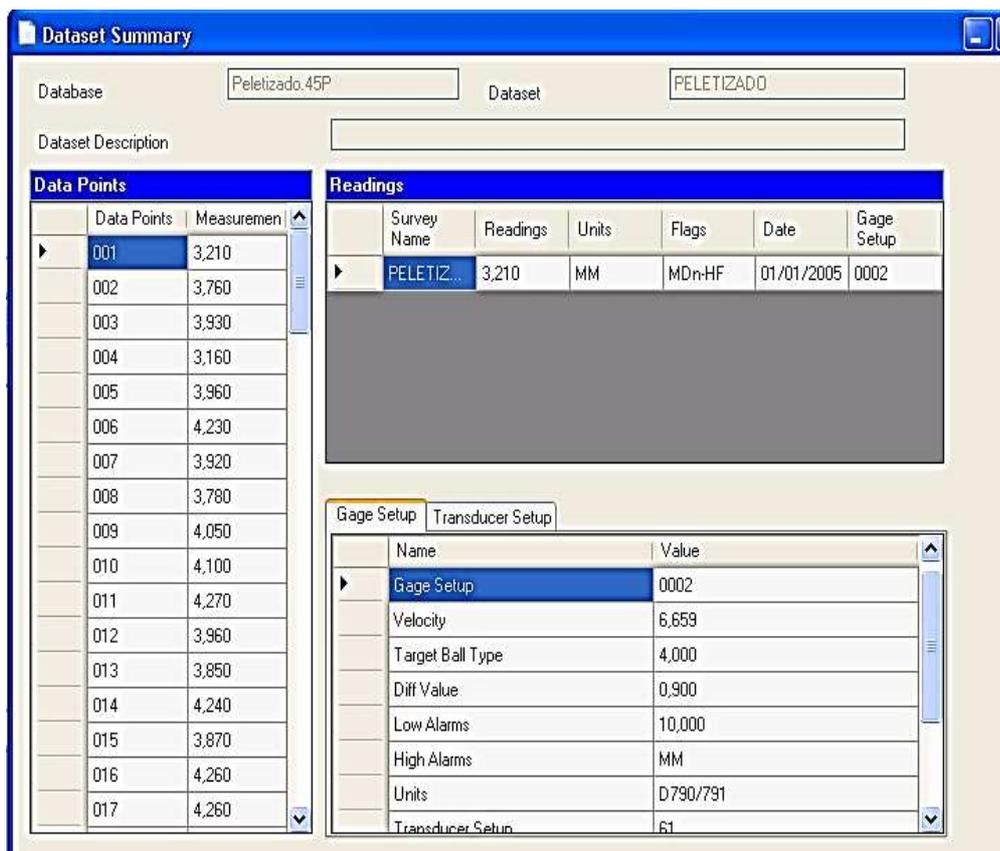
Fuente: Autores

**3.2.10 Generación de informes en base al software GageView.** Mediante este software se puede presentar 4 tipos principales de generación de informes que serán seleccionados según las necesidades que se presenten al momento de la inspección, dichos informes se detallan a continuación:

**3.2.10.1 Dataset Summary.** En esta pantalla obtiene la información tabulada de todos los puntos de medición, así como, datos de la medición de espesores realizada y los datos del equipo con la que se efectuó dicha operación.

También se puede obtener la velocidad de propagación del material que es muy útil en casos de espesores de gran dimensión, donde, es complicada la mecanización del bloque de calibración de un mismo tipo de material (ver Figura 54).

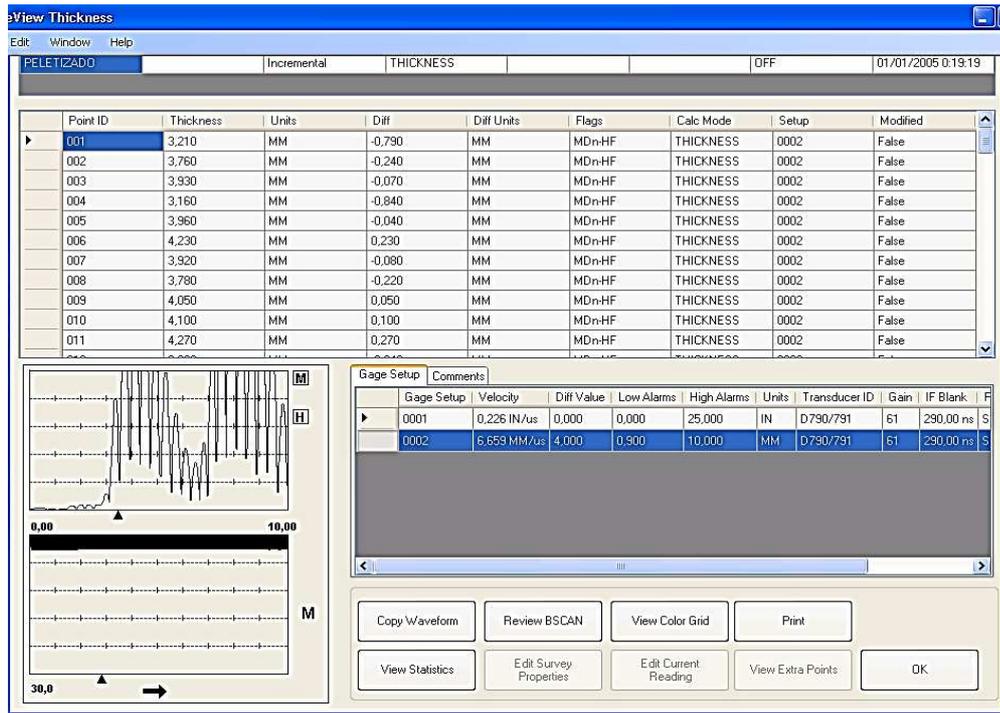
Figura 54. Pantalla de Dataset Summary



Fuente: Autores

**3.2.10.2 B – Scan.** Muestra los valores de medición, así como la forma interna que tiene la tubería en cada punto inspeccionado, según se seleccione (ver Figura 55).

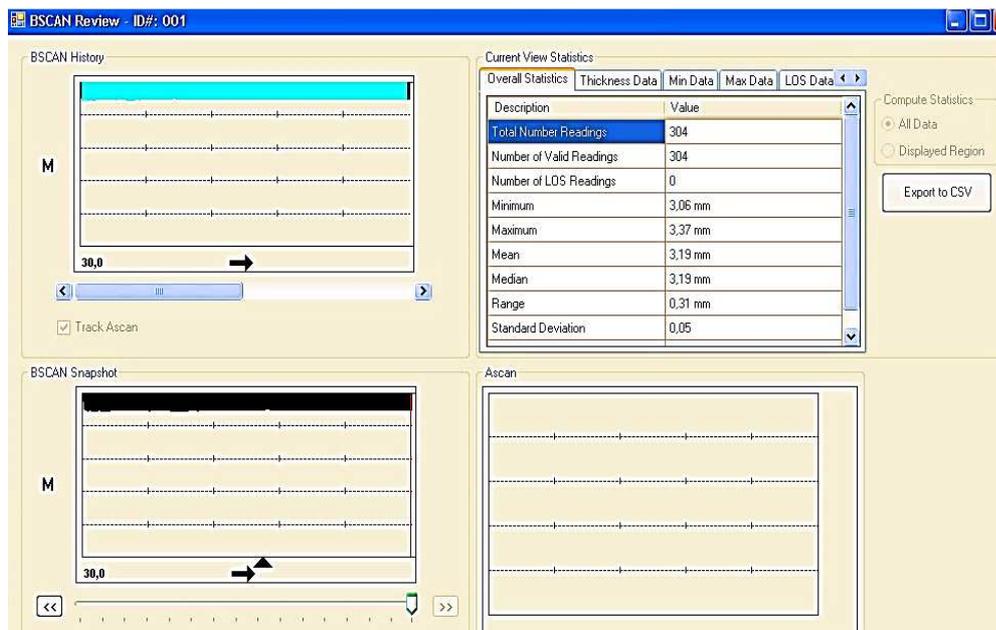
Figura 55. Pantalla de B- Scan



Fuente: Autores

**3.2.10.3 BSCAN Review.** Nos permite obtener una mejor presentación de la superficie que se midió y también permite desplazarnos punto a punto en dicha superficie a través del cursor que se encuentra en parte inferior de la pantalla.

Figura 56. Pantalla de BSCAN Review



Fuente: Autores

**3.2.10.4 45MG\_Statistics.** Muestra detalladamente todos los parámetros con los que se efectuó la operación así como los datos relevantes que se obtuvieron en la medición (ver Figura 57).

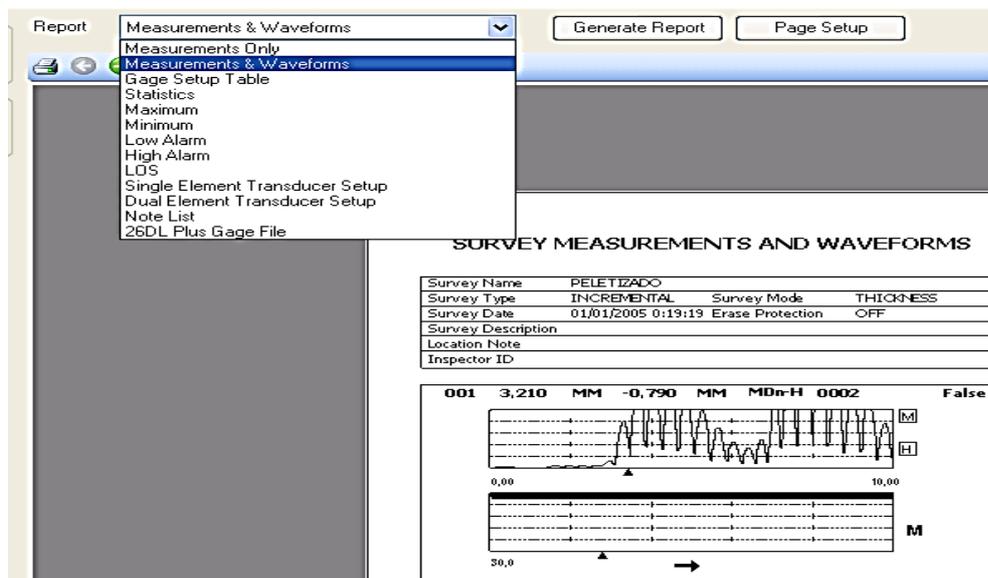
Figura 57. Pantalla de 45MG\_Statistics

Statistics	Minimum	Maximum	Low Alarms	High Alarms	LOS
<b>2 Thickness Statistics:</b>					
C # Of LOS Measurements					0
A Minimum Reading:		3,1600 MM			
B Maximum Reading:		31,7800 MM			
C Mean:		4,1915 MM			
D Range:		28,6200 MM			
E Median:		3,8700 MM			
F Standard Deviation:		2,8948 MM			
<b>3 Alarm Statistics:</b>					
A # Of Differential Measurements					94
B Low Alarm Set Points					Not Applied
C # Of Low Alarms					0
D % Of Low Alarms					0 %
E High Alarm Set Points					Not Applied
F # Of High Alarms					0
G % Of High Alarms					0 %

Fuente: Autores

**3.2.11 Reporte.** Clasifica cualquier forma de archivo y genera un reporte total de todos los puntos de medición en documentos listos para la interpretación que se desea realizar y según el tipo de documento que se seleccione.

Figura 58. Pantalla de reportes



Fuente: Autores

En definitiva el 45MG es un medidor de espesores por ultrasonido portátil diseñado para una amplia variedad de aplicaciones en medición de espesores. Con el equipo solo se necesita acceder desde un lado de la pieza para obtener mediciones no destructivas de espesor de materiales corroídos, granulares, picados, con costras y otros materiales complejos. (DMTA, 2012)

### **3.3 Selección de la técnica y método ultrasónico a utilizar**

**3.3.1 Técnica de ultrasonido a emplearse.** La técnica a utilizarse es pulso-eco. En donde el transductor emite señales eléctricas pulsátiles de ultrasonido a un material, dichas señales de ultrasonido se propagan en el material y después de un tiempo determinado de acuerdo a la velocidad de propagación del material retorna en forma de eco al palpador (principio de piezoelectricidad) trayendo consigo información necesaria para ser procesada en el equipo.

**3.3.2 Método de ultrasonido a emplearse.** El método que se emplea es la medición de espesores por ultrasonido, siendo ampliamente utilizado en todas las formas básicas en una gran variedad de materiales donde es indispensable obtener información sobre la reducción que sufren los materiales producto de procesos corrosivos o erosivos.

**3.3.3 Normalización y tolerancia admisibles.** La normalización se lo realizará bajo los criterios de ASTM E-797 para la elaboración del bloque de calibración como se señaló anteriormente y a su vez los criterios para el procedimiento inspección bajo la misma norma. La tolerancia admisible de los espesores se lo aceptará en base a las especificaciones de la norma ASME B16.9M (ver Anexo G).

### **3.4 Identificación del tipo de material de la tubería de vapor**

Es necesario tener los siguientes datos de construcción de la tubería, debido que son de gran utilidad al momento de realizar la evaluación del estado en que se encuentran las tuberías dentro del sistema de producción.

Material: ASTM A 53 Grado B, SCH 40 sin costura.

Recubrimiento: Negro.

Largo Nominal: 6.00m.

Presión de prueba: 2500Psi.

Resistencia a la tracción: 60000Psi (42.2 Kg/mm<sup>2</sup>).

Limite elasticidad: 35000Psi (24.6 Kg/mm<sup>2</sup>).

Alargamiento: 0.5%. (VELASCO, 2013)

Tabla 8. Composición del ASTM A 53 GRB

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ASTM A 53 GRB			
Carbono (%)	Manganeso (%)	Fósforo (%)	Azufre (%)
0.3	1.2	0.05	0.06

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/35443893/catalogo-acero-dipac>

### 3.5 Determinación de puntos críticos de inspección

**3.5.1 Puntos de referencia de inspección.** Los puntos de referencia para la inspección se lo realiza teniendo en cuenta el aspecto superficial de la tubería de vapor y los puntos donde existe mayor turbulencia en el fluido de vapor durante su distribución (ver Figura 59).

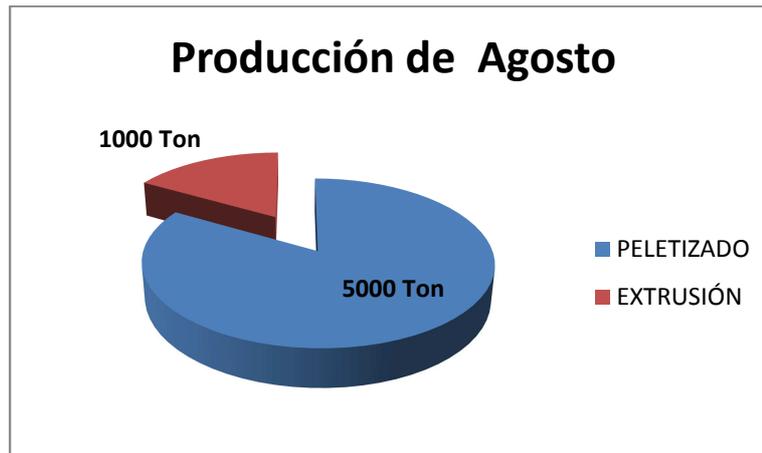
Figura 59. Puntos de referencia para la inspección



Fuente: Autores

**3.5.2 Selección de puntos críticos de inspección de acuerdo a la producción.** La selección de los puntos críticos se lo realiza de acuerdo a un análisis de criticidad de los accesorios, tramos y controles del fluido de vapor en la tubería de distribución, que se realizará previamente para determinar los puntos a inspeccionar, también se consideró la cantidad de producción en cada área de la empresa (ver Figura 60).

Figura 60. Producción en toneladas de la empresa Bioalimentar



Fuente: Autores

De acuerdo a producción del último mes se puede analizar que la mayor producción de la empresa corresponde al área de peletizado y se consume mayor cantidad de vapor para procesar el producto final, por consiguiente se tomará un mayor número de puntos de inspección en dicha área.

**3.5.2.1 Análisis de criticidad.** Es un método que nos permite determinar los puntos necesarios e indispensables para la aplicación de la técnica a emplear. Se lo realizó pensando en la determinación de los puntos críticos donde es necesario realizar las inspecciones no destructivas. Para tal efecto se necesita la aplicación de una matriz de criticidad que contiene siete áreas de impacto con los criterios respectivos que ubica cada ítem en una de las tres posibilidades que pueden ser catalogadas como; riesgos altos, medios o bajos. Las áreas de impacto mencionadas son las siguientes:

- S&S → Seguridad y salud.
- MA → Medio ambiente.
- C&P → Calidad y productividad.
- P → Producción.

- TO → Tiempos operacionales.
- TBF → Intervalos entre actividades.
- MT → Tiempos y costos de mantenimiento. (HERNÁNDEZ, 2010)

3.5.2.2 *Matriz de criticidad.* Clasifica las 3 clases de riesgos en cada área de impacto.

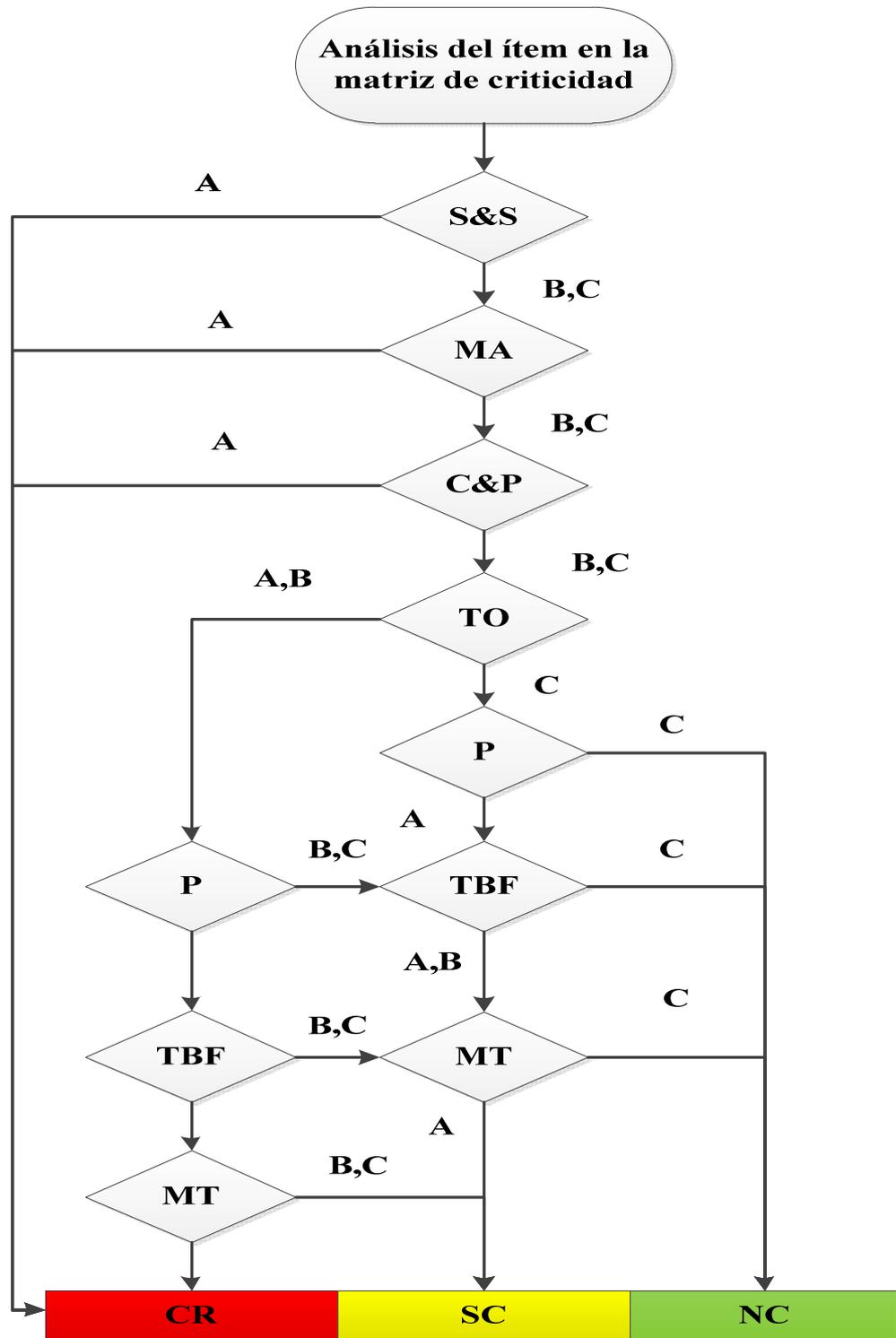
Tabla 9. Matriz de criticidad

<b>MATRIZ DE CRITICIDAD</b>			
<b>CAUSAS DE PARADAS NO PLANEADAS</b>			
<b>Área de Impacto</b>	<b>A Riesgo Alto</b>	<b>B Riesgo Medio</b>	<b>C Riesgo medio</b>
<b>Seguridad y Salud (S&amp;S)</b>	Alto riesgo de vida del personal	Riesgo de vida significativa del personal	No existe riesgo de salud ni daños al personal
	Daños graves en la salud del personal	Daños menores en la salud del personal	
<b>Medio Ambiente (MA)</b>	Altos excedentes de los límites permitidos de derrames y fugas	Excedente de los límites permitidos y repetitivos de derrames y fugas	Emisiones normales de la planta dentro de los límites permitidos
<b>Calidad y Productividad (C&amp;P)</b>	Defectos de producción	Variación en las especificaciones de calidad y producción	Sin efectos
	Reducción de velocidad		
	Reducción de la producción		
<b>Producción (P)</b>	Parada de todo el proceso	Parada de una parte del proceso	Sin efectos
<b>OPERACIÓN DE EQUIPOS</b>			
<b>Área de Impacto</b>	<b>A Riesgo Alto</b>	<b>B Riesgo Medio</b>	<b>C Riesgo medio</b>
<b>Tiempos de operación (TO)</b>	24 horas diarias	2 turnos u horas normales de trabajo	Ocasionalmente o no es un equipo de producción
<b>Intervalos entre actividades (TBF)</b>	Menos de 6 meses	En promedio una vez al año	Raramente
<b>Tiempos y Costos de Mantenimiento (MT)</b>	Tiempo y/o costos de reparación altos	Tiempos y/o costos de reparación razonable	Tiempos y/o costos de reparación irrelevantes

Fuente: HERNÁNDEZ Eduardo, MCCII. p.30

**3.5.2.3 Flujograma de criticidad.** Determina las rutas a seguir dependiendo del área de impacto, así como de su categorización de riesgo en; CR como crítico, SC como semicrítico y NC como no crítico.

Figura 61. Flujograma de criticidad



Fuente: HERNÁNDEZ Eduardo, MCCII. p.31

**3.5.2.4 Selección de puntos críticos para la inspección.** Para determinar los puntos en los cuales se deben ejecutar las mediciones se realizó una inspección visual identificando los puntos donde existe mayores caídas de presión, así como, aquellos que visualmente muestran cierto grado de deterioro y para una mejor selección se procedió a realizar un análisis de criticidad.

Se procedió a realizar la designación y descripción de los puntos seleccionados, así como, el análisis de criticidad previo a una inspección visual, donde se muestra puntos en común para realizar las inspecciones.

Tabla 10. Designación y descripción de los puntos para el análisis de criticidad

DESIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN
PP1	Codo de 90° de la línea de ingreso a peletizado.
PP2	Tubería del cuadro de control de vapor.
PP3	Tubería del cuadro de control de vapor.
PP4	Tubería del cuadro de control de vapor.
PP5	Tubería del cuadro de control de vapor.
PP6	Tubería del cuadro de control de vapor.
PP7	Entrada del alimentador peletizadora # 2.
PP8	Codo de 90° de entrada del alimentador peletizadora # 2.
PP9	Tubería de la válvula de alivio.
PP10	Codo 90° de la tubería de la válvula de alivio.
PP11	Tubería sobre la válvula de alivio.
PP12	Tubería de distribución peletizadora # 2.
PP13	Codo 90° de la pelizadora # 2.
PP14	Codo 90° de la pelizadora # 2.
PP15	Tubería del cuadro de control de la peletizadora # 1.
PP16	Tubería del cuadro de control de la peletizadora # 2.
PP17	Tubería del cuadro de control de la peletizadora # 3.
PP18	Tubería del cuadro de control de la peletizadora # 3.
PP19	Tubería de ingreso al peletizadora # 1.
PP20	Codo 90 ° de ingreso al peletizadora #3 Tramo 1.
PP21	Tubería recta de la salida a la peletizadora #3 Tramo 2.
PP22	Codo 90 ° de salida al peletizadora #3 Tramo 3.

Tabla 10. (Continuación)

PP23	Tubería vertical del tramo 1 de ingreso al peletizadora #3 Tramo 4.
PP24	Tubería recta al ingreso a la peletizadora # 1.
PP25	Codo de 90 de ingreso de la peletizadora # 3.
PP26	Tubería recta de distribución de la peletizadora # 1.
PP27	Tubería de la salida del cuadro de control.
PE1	Codo de 90° manífull de extrusión antes de válvula de apertura.
PE2	Tubería salida de la válvula de alivio.
PE3	Salida de la válvula de alivio antes de la regulación.
PE4	Salida de la válvula de alivio.
PE5	Codo de 90° antes de la regulación.
PE6	Tubería control del manífull de extrusión.
PE7	Tubería de ingreso a extrusión.
PE8	Tubería de ingreso a extrusión.
PE9	Tubería de salida del manífull.
PE10	Tubería antes de los manómetros del manífull.
PE11	Tubería antes de llegar a la máquina extruder.

Fuente: autores

Tabla 11. Análisis de criticidad para selección de puntos a inspeccionar

<i>Punto</i>	<i>Área</i>	<i>(S&amp;S)</i>	<i>(MA)</i>	<i>(C&amp;P)</i>	<i>(TO)</i>	<i>(P)</i>	<i>(TBF)</i>	<i>(MT)</i>	<i>Criticidad</i>
1	PP1	A	B	B	B	B	C	A	CR
2	PP2	A	B	B	B	B	C	A	CR
3	PP3	A	B	B	B	B	C	A	CR
4	PP4	A	B	B	B	B	C	A	CR
5	PP5	A	B	B	B	B	C	A	CR
6	PP6	A	B	B	B	B	C	A	CR
7	PP7	A	B	B	B	B	C	A	CR
8	PP8	A	B	B	B	B	C	A	CR
9	PP9	A	B	B	B	B	C	A	CR

Tabla 11. (Continuación)

10	PP10	A	B	B	B	B	C	A	CR
11	PP11	A	B	B	B	B	C	A	CR
12	PP12	A	B	B	B	B	C	A	CR
13	PP13	A	B	B	B	B	C	A	CR
14	PP14	A	B	B	B	B	C	A	CR
15	PP15	A	B	B	B	B	C	A	CR
16	PP16	A	B	B	B	B	C	A	CR
17	PP17	A	B	B	B	B	C	A	CR
18	PP18	A	B	B	B	B	C	A	CR
19	PP19	A	B	B	B	B	C	A	CR
20	PP20	A	B	B	B	B	C	A	CR
21	PP21	A	B	B	B	B	C	A	CR
22	PP21	A	B	B	B	B	C	A	CR
22	PP22	A	B	B	B	B	C	A	CR
23	PP23	A	B	B	B	B	C	A	CR
24	PP24	A	B	B	B	B	C	A	CR
25	PP25	B	B	B	B	B	C	C	SC
26	PP26	B	B	B	B	B	C	C	SC
27	PP27	B	B	B	B	B	C	C	SC
1	PE1	A	B	B	B	B	C	A	CR
2	PE2	A	B	B	B	B	C	A	CR
3	PE3	A	B	B	B	B	C	A	CR
4	PE4	A	B	B	B	B	C	A	CR
5	PE5	A	B	B	B	B	C	A	CR
6	PE6	A	B	B	B	B	C	A	CR
7	PE7	A	B	B	B	B	C	A	CR
8	PE8	A	B	B	B	B	C	A	CR
9	PE9	B	B	B	B	B	C	C	SC
10	PE10	B	B	B	B	B	C	C	SC
11	PE11	B	B	B	B	B	C	C	SC

Fuente: autores

### 3.6 Señalización de los puntos críticos

La señalización de los puntos críticos se lo realiza colocando una marca sobre el elemento de la tubería de distribución de vapor.

Figura 62. Señalización de puntos críticos



Fuente: Autores

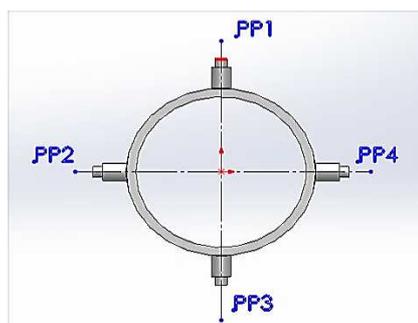
El marcado de los puntos críticos se lo realiza por medio de un marcador de tiza líquida para evitar una doble medición en el mismo punto.

**3.6.1** *Recomendaciones de selección de puntos críticos.* Las recomendaciones de la selección de los puntos críticos son:

- Ubicar los puntos críticos de medición en lugar de fácil acceso.
- En superficies donde no se aprecie una gran rugosidad del material considerable.
- En superficies de fácil limpieza superficial.

**3.6.2** *Puntos de medición de un punto crítico.* Se procedió a tomar cuatro mediciones en cada punto crítico de inspección (ver Figura 63).

Figura 63. Puntos de medición de un punto crítico



Fuente: Autores

### **3.7 Preparación de la superficie a inspeccionarse y el acoplante**

**3.7.1** *Aplicación del método de limpieza de la superficie.* La aplicación del método se lo realiza de forma manual con ayuda de cepillo de alambre, guaipe y brocha para la limpieza de óxidos y otros elementos producto de los residuos de la materia prima.

La limpieza del óxido de la superficie de la tubería de vapor se lo realiza con ayuda de un cepillo de alambre uniformemente sobre la superficie a limpiarse para evitar el origen de superficies de rugosidades considerables y luego se limpia con una brocha o franela el exceso de material del área de limpieza, a su vez también se utiliza este método para limpieza de residuos de soldadura presente en las uniones soldadas de la tubería (ver Figura 64).

Figura 64. Limpieza de superficies



Fuente: Autores

Se elimina los elementos residuales de la materia prima que se encuentran en el medio de los cuales son destinados a producir, algunos de los que se puede señalar son; partículas de maíz, afrecho, soya, micro y macroingredientes, que sirven para la producción de los diversos tipos de balanceados producidos en la planta. La acción de limpieza se la realiza por medio de un guaipe y brochas para retirar el material que se encuentra en la superficie de la tubería.

**3.7.2** *Aplicación del acoplador sobre la superficie.* Para la realización de las inspecciones en las tuberías se utilizó glicerina, la misma que se coloca en cantidades normales sobre la superficie del elemento que se inspecciona y se lo realiza colocándolo directamente del frasco de glicerina o distribuyéndola uniformemente con ayuda de los dedos de la mano.

Es necesario contar un nivel óptimo de glicerina en la superficie del material a ensayarse, puesto que, cantidades excesivas en la superficie del material pueden provocar lecturas erróneas al momento de medir y del mismo modo cantidades pequeñas sobre la superficie del material pudiéndose ocasionar que el equipo de medición no muestre ningún resultado (ver Figura 65).

Figura 65. Aplicación de glicerina sobre la superficie



Fuente: Autores

Otro motivo importante de la adición de glicerina en la superficie de la tubería de vapor para obtener una señal acústica uniforme que evite errores de medición.

### 3.8 Inspección de los puntos críticos seleccionados

Se procede a tomar las medidas en los puntos seleccionados anteriormente, con ayuda del equipo de medición de espesores y ejerciendo una presión uniforme sobre el palpador a lo largo de superficie inspeccionada para obtener los datos más exactos.

Figura 66. Inspección de puntos seleccionados

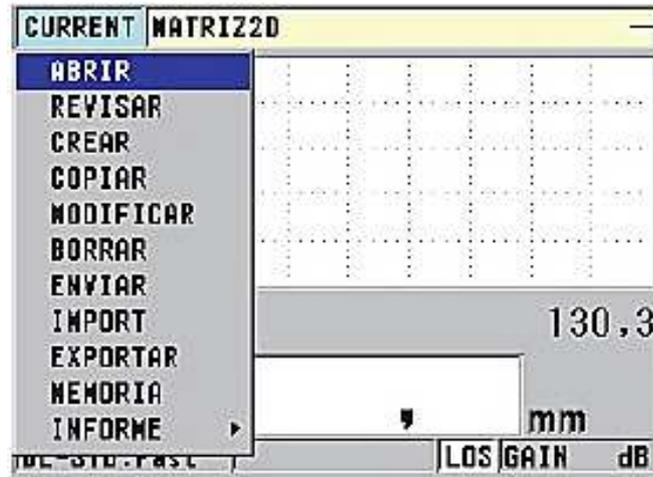


Fuente: Autores

### 3.9 Registro del archivo en el equipo

El registro se realiza creando un nuevo archivo de medición; identificación del archivo, descripción del archivo, notas del lugar, tipo de archivo y su protección de borrado (ver Figura 67).

Figura 67. Registro del archivo en el equipo



Fuente: 45MG, Medidor de espesores por ultrasonido, Manual del usuario

### 3.10 Toma de datos de inspección

Coloque el sensor de medición sobre el punto crítico determinado de forma perpendicular a la superficie inspeccionada y ajuste el control del instrumento hasta que en la pantalla del equipo se presente la lectura del espesor precedente (ver Figura 68).

Figura 68. Toma de datos



Fuente: Autores

### 3.11 Almacenamiento de la toma de datos de inspección

El almacenamiento de los datos se lo realiza mediante el congelamiento de cada uno de los datos de inspección realizados y se procede al guardado de cada uno de éstos en la carpeta creada previamente.

Figura 69. Registro del archivo en el equipo

The image shows a digital display of an ultrasonic thickness gauge. At the top, it displays 'ID: B04' and 'THK: . R'. Below this is a table with 5 rows and 4 columns. The columns are labeled 'A', 'B', and 'C'. The first row shows '01' with values '0.385 H', '0.195', and '---.---'. The second row shows '02' with values '0.195', '0.098 L', and '---.---'. The third row shows '03' with values '0.195', '0.098 L', and '---.---'. The fourth row shows '04' with values '0.195', '---.---', and '---.---'. The fifth row shows '05' with values '0.290', '---.---', and '---.---'. Below the table, there is a 'MIN' indicator and a large digital readout showing '0.194' in green, with 'in' below it. At the bottom, there are three indicators: 'DE-STD: Fast', 'ALARM', and 'GAIN dB'.

	A	B	C
01	0.385 H	0.195	---.---
02	0.195	0.098 L	---.---
03	0.195	0.098 L	---.---
04	0.195	---.---	---.---
05	0.290	---.---	---.---

MIN 0.194 0.194 in

DE-STD: Fast ALARM GAIN dB

Fuente: OLYMPUS, Manual del usuario, Medidor de espesores por ultrasonido, 45MG

### 3.12 Verificación de la toma de datos de inspección

La verificación de los datos de inspección se lo realiza midiendo dos veces en el mismo punto, regresando el palpador al mismo sitio de la primera medición.

Este proceso tiene como finalidad la obtención de la menor cantidad de errores posibles que nos facilite el análisis.

### 3.13 Limpieza de la superficie inspeccionada

Se realiza la limpieza de cada punto de inspección después de la medición realizada para eliminar residuos del elemento acoplante y el elemento utilizado para el marcado de los puntos críticos para así evitar futuras complicaciones. El elemento inspeccionado debe quedar sin el acoplante, debido a que dicho elemento puede acumular grandes cantidades de residuos del medio.

### 3.14 Importación de los datos de las inspecciones realizadas

Terminada la inspección de todos los puntos críticos, se realiza la importación de los datos obtenidos hacia el software del equipo GageView instalado en un Pc, para posteriormente realizar los análisis respectivos bajo los parámetros y normas establecidas.

### 3.15 Informe

Se realiza un modelo de informe para cada punto de inspección en base a las especificaciones de la norma ASTM E-797 (ver Tabla 12).

Tabla 12. Modelo de informe a realizar según especificaciones de ASTM E - 797

<b>Informe N°:</b> .....			<b>Imagen</b>
<b>Empresa :</b> .....			
<b>Nombre del equipo o área:</b> .....			
<b>Parte del área:</b> .....			
<b>Parte a inspeccionar:</b> .....			
<b>Fecha:</b> .....		<b>Descripción de la medición:</b> .....	
<b>Tipo de equipo de medición:</b> .....			
<b>Tipo de material:</b> .....		<b>Técnica:</b> .....	
<b>Tamaño nominal del material:</b> ..... .....		<b>Nombre de la norma a basarse en la inspección:</b> .....	
<b>Tipo de palpador:</b> .....		<b>Tipo de acoplante:</b> .....	
<b>Bloque de calibración:</b> .....			
<b>Procedimiento:</b> .....			
<b>Resultados:</b> .....			
<b>Observación:</b> .....			
<b>Espesor nominal:</b> ....	<b>Espesor máximo:</b> .....	<b>Espesor mínimo:</b> ...	
<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>	

Fuente: Autores

### 3.16 Tabulación de datos

Se realiza la tabulación de datos de las inspecciones realizadas a través del programa GageView del equipo. También se puede exportar los datos de las inspecciones a un documento de excel con la ayuda del programa para los respectivos cálculos y análisis.

### 3.17 Denominación de puntos seleccionados para el análisis

Se procedió a describir el área con su respectivo punto, así como, su identificación que será útil para su denominación con el fin de mejorar su presentación al momento del análisis.

Tabla 13. Denominación de puntos para el análisis

Área	Punto crítico	Identificación	Punto
Extrusión	1	Codo de 90° manífull de extrusión antes de la válvula de apertura.	PCE1
Extrusión	2	Tubería salida de la válvula de alivio.	PCE2
Extrusión	6	Tubería control del manífull de extrusión.	PCE6
Extrusión	7	Tubería de ingreso a extrusión.	PCE7
Extrusión	8	Tubería de ingreso a extrusión.	PCE8
Peletizado	1	Codo de 90° de la línea de ingreso a peletizado.	PCP1
Peletizado	6	Tubería del cuadro de control de vapor.	PCP6
Peletizado	8	Codo de 90° de entrada del alimentador peletizadora # 2.	PCP8
Peletizado	10	Codo 90° de la tubería de la válvula de alivio.	PCP10
Peletizado	14	Codo 90° de la pelizadora # 2.	PCP14
Peletizado	18	Tubería del cuadro de control de peletizadora #3.	PCP18
Peletizado	19	Tubería de ingreso a la peletizadora #1.	PCP19
Peletizado	20	Codo 90° de ingreso a la peletizadora #3 tramo 1.	PCP20
Peletizado	21	Tubería recta de la ingreso a la peletizadora. #3 tramo 2.	PCP21
Peletizado	22	Codo 90° de ingreso a la peletizadora #3 tramo 3.	PCP22

Fuente: Autores

### 3.17.1 Informes de los puntos críticos inspeccionados bajo ASTM E-797

Tabla 14. Informe codo de 90° manifiull de extrusión

<b>Informe N°:</b> 01		
<b>Empresa :</b> Bioalimentar		
<b>Nombre del equipo o área:</b> Extrusión		
<b>Parte del área:</b> Manifiull de distribución		
<b>Parte a inspeccionar :</b> PCE1		
<b>Fecha:</b> 14/07/2013		<b>Descripción de la medición:</b> Espesores por ultrasonido
<b>Tipo de equipo de medición:</b> Modelo 45 MG		
<b>Tipo de material :</b> ASTM A53 grado B		<b>Técnica:</b> pulso-eco
<b>Tamaño nominal del material:</b> Tubería de diámetro de 2 plug.		<b>Nombre de la norma a basarse en la inspección:</b> ASTM E-797
<b>Tipo de palpador:</b> D 790/791		<b>Tipo de acoplante:</b> Glicerina
<b>Bloque de calibración:</b> N° 01 de ASTM A53 GRB y bajo ASTM E-797		
<b>Procedimiento:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación del material</li> <li>• Calibración del equipo</li> <li>• Determinación de puntos críticos</li> <li>• Limpieza de la superficie a inspeccionar</li> <li>• Inspección de los puntos críticos</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tabulación de las inspecciones</li> <li>• Indicaciones falsas</li> <li>• Puntos relevantes</li> <li>• Análisis de puntos relevantes</li> <li>• Evaluación de las inspecciones</li> </ul>
<b>Resultados:</b>		
Se realizó un análisis determinando que existe una falla producto al golpe de ariete.		
<b>Observación:</b>		
Existe la presencia de golpe de ariete es debido a la presencia de vibración en el codo, al cambio de dirección del fluido y a la elevada presión de entrada al sistema en dicho punto.		
<b>Espesor nominal:</b> 4mm	<b>Espesor máximo:</b> 3,51mm	<b>Espesor mínimo:</b> 3,14mm
<b>Elaborado por:</b> José Yugcha Víctor Paullán	<b>Revisado por:</b> Ing. Fernando González Ing. Marco Almendariz	<b>Aprobado por:</b> In Ing. Fernando González Ing. Marco Almendariz

Fuente: Autores

Tabla 15. Informe salida de la válvula de alivio

<b>Informe N°:</b> 02		
<b>Empresa :</b> Bioalimentar		
<b>Nombre del equipo o área:</b> Extrusión		
<b>Parte del área:</b> Manifull de distribución		
<b>Parte a inspeccionar :</b> PCE2		
<b>Fecha:</b> 14/07/2013		<b>Descripción de la medición:</b> Espesores por ultrasonido
<b>Tipo de equipo de medición:</b> Modelo 45 MG		
<b>Tipo de material :</b> ASTM A53 grado B		<b>Técnica:</b> pulso-eco
<b>Tamaño nominal del material:</b> Tubería de diámetro de 2 plug.		<b>Nombre de la norma a basarse en la inspección:</b> ASTM E-797
<b>Tipo de palpador:</b> D 790/791		<b>Tipo de acoplante:</b> Glicerina
<b>Bloque de calibración:</b> N° 01 y normalizado bajo ASTM E-797		
<b>Procedimiento:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación del material</li> <li>• Calibración del equipo</li> <li>• Determinación de puntos críticos</li> <li>• Limpieza de la superficie a inspeccionar</li> <li>• Inspección de los puntos críticos</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tabulación de las inspecciones</li> <li>• Indicaciones falsas</li> <li>• Puntos relevantes</li> <li>• Análisis de puntos relevantes</li> <li>• Evaluación de las inspecciones</li> </ul>
<b>Resultados:</b>		
Se realizó un análisis determinando que existe una falla producto a la reacción del oxígeno con la pared de la tubería de alivio de la línea de vapor.		
<b>Observación:</b>		
Se identificó sobrepresiones del caldero que incrementan la temperatura de la tubería de distribución de vapor generando la disminución de la humedad relativa de la tubería.		
<b>Espesor nominal:</b> 4mm	<b>Espesor máximo:</b> 3,73mm	<b>Espesor mínimo:</b> 3,51mm
<b>Elaborado por:</b> José Yugcha Víctor Paullán	<b>Revisado por:</b> Ing. Fernando González Ing. Marco Almendariz	<b>Aprobado por:</b> Ing. Fernando González Ing. Marco Almendariz

Fuente: Autores

Tabla 16. Informe tubería control del manífull de extrusión

<b>Informe N°:</b> 03		
<b>Empresa :</b> Bioalimentar		
<b>Nombre del equipo o área:</b> Extrusión		
<b>Parte del área:</b> Manífull de distribución		
<b>Parte a inspeccionar :</b> PCE6		
<b>Fecha:</b> 14/07/2013		<b>Descripción de la medición:</b> Espesores por ultrasonido
<b>Tipo de equipo de medición:</b> Modelo 45 MG		
<b>Tipo de material :</b> ASTM A53 grado B		<b>Técnica:</b> pulso-eco
<b>Tamaño nominal del material:</b> Tubería de diámetro de 2 plug.		<b>Nombre de la norma a basarse en la inspección:</b> ASTM E-797
<b>Tipo de palpador:</b> D 790/791		<b>Tipo de acoplante:</b> Glicerina
<b>Bloque de calibración:</b> N° 01 y normalizado bajo ASTM E-797		
<b>Procedimiento:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación del material</li> <li>• Calibración del equipo</li> <li>• Determinación de puntos críticos</li> <li>• Limpieza de la superficie a inspeccionar</li> <li>• Inspección de los puntos críticos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tabulación de las inspecciones</li> <li>• Indicaciones falsas</li> <li>• Puntos relevantes</li> <li>• Análisis de puntos relevantes</li> <li>• Evaluación de las inspecciones</li> </ul>	
<b>Resultados:</b>		
Se realizó un análisis determinando que existe una falla producto del arrastre del material interno corroído de la tubería y transportado en el flujo del condensado de vapor.		
<b>Observación:</b>		
Se observa partículas de la degradación de la pared interior de la tubería de distribución de vapor que son arrastradas al tanque de alimentación de los calderos, también éstas se encuentran en las trampas de vapor de la instalación.		
<b>Espesor nominal:</b> 4mm	<b>Espesor máximo:</b> 4,14mm	<b>Espesor mínimo:</b> 3,35mm
<b>Elaborado por:</b> José Yugcha Víctor Paullán	<b>Revisado por:</b> Ing. Fernando González Ing. Marco Almendariz	<b>Aprobado por:</b> I Ing. Fernando González Ing. Marco Almendariz

Fuente: Autores

Tabla 17. Informe tubería de ingreso a extrusión

<b>Informe N°:</b> 04		
<b>Empresa :</b> Bioalimentar		
<b>Nombre del equipo o área:</b> Extrusión		
<b>Parte del área:</b> Ingreso a la extruder		
<b>Parte a inspeccionar :</b> PCE7		
<b>Fecha:</b> 14/07/2013		<b>Descripción de la medición:</b>
<b>Tipo de equipo de medición:</b> Modelo 45 MG		Espesores por ultrasonido
<b>Tipo de material :</b> ASTM A53 grado B		<b>Técnica:</b> pulso-eco
<b>Tamaño nominal del material:</b> Tubería de diámetro de 1 plug.		<b>Nombre de la norma a basarse en la inspección:</b> ASTM E-797
<b>Tipo de palpador:</b> D 790/791		<b>Tipo de acoplante:</b> Glicerina
<b>Bloque de calibración:</b> N° 01 y normalizado bajo ASTM E-797		
<b>Procedimiento:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación del material</li> <li>• Calibración del equipo</li> <li>• Determinación de puntos críticos</li> <li>• Limpieza de la superficie a inspeccionar</li> <li>• Inspección de los puntos críticos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tabulación de las inspecciones</li> <li>• Indicaciones falsas</li> <li>• Puntos relevantes</li> <li>• Análisis de puntos relevantes</li> <li>• Evaluación de las inspecciones</li> </ul>	
<b>Resultados:</b>		
Se realizó un análisis determinando que existe una falla producto del arrastre del material interno corroído de la tubería y transportado en el flujo del condensado de vapor.		
<b>Observación:</b>		
Se observa partículas de la degradación de la pared interior de la tubería de distribución de vapor que son arrastradas al tanque de alimentación de los calderos, también éstas se encuentran en las trampas de vapor de la instalación.		
<b>Espesor nominal:</b> 3,4mm	<b>Espesor máximo:</b> 3,56mm	<b>Espesor mínimo:</b> 3,07mm
<b>Elaborado por:</b> José Yugcha Víctor Paullán	<b>Revisado por:</b> Ing. Fernando González Ing. Marco Almendariz	<b>Aprobado por:</b> Ing. Fernando González Ing. Marco Almendariz

Fuente: Autores

Tabla 18. Informe tubería de ingreso a extrusión

<b>Informe N°:</b> 05		
<b>Empresa :</b> Bioalimentar		
<b>Nombre del equipo o área:</b> Extrusión		
<b>Parte del área:</b> Ingreso a la extruder		
<b>Parte a inspeccionar :</b> PCE8		
<b>Fecha:</b> 14/07/2013	<b>Descripción de la medición:</b>	
<b>Tipo de equipo de medición:</b> Modelo 45 MG	Espesores por ultrasonido	
<b>Tipo de material :</b> ASTM A53 grado B	<b>Técnica:</b> pulso-eco	
<b>Tamaño nominal del material:</b> Tubería de diámetro de 1 plug.	<b>Nombre de la norma a basarse en la inspección:</b> ASTM E-797	
<b>Tipo de palpador:</b> D 790/791	<b>Tipo de acoplante:</b> Glicerina	
<b>Bloque de calibración:</b> N° 01 y normalizado bajo ASTM E-797		
<b>Procedimiento:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación del material</li> <li>• Calibración del equipo</li> <li>• Determinación de puntos críticos</li> <li>• Limpieza de la superficie a inspeccionar</li> <li>• Inspección de los puntos críticos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tabulación de las inspecciones</li> <li>• Indicaciones falsas</li> <li>• Puntos relevantes</li> <li>• Análisis de puntos relevantes</li> <li>• Evaluación de las inspecciones</li> </ul>	
<b>Resultados:</b>		
Se realizó un análisis determinando que existe una falla producto del arrastre del material interno corroído de la tubería y trasportado en el flujo del condensado de vapor.		
<b>Observación:</b>		
Se observa partículas de la degradación de la pared interior de la tubería de distribución de vapor que son arrastradas al tanque de alimentación de los calderos, también éstas se encuentran en las trampas de vapor de la instalación.		
<b>Espesor nominal:</b> 3,4mm	<b>Espesor máximo:</b> 2,85mm	<b>Espesor mínimo:</b> 2,35mm
<b>Elaborado por:</b> José Yugcha Víctor Paullán	<b>Revisado por:</b> Ing. Fernando González Ing. Marco Almendariz	<b>Aprobado por:</b> Ing. Fernando González Ing. Marco Almendariz

Fuente: Autores

Tabla 19. Informe codo de 90° de la línea de ingreso a peletizado

<b>Informe N°:</b> 06		
<b>Empresa :</b> Bioalimentar		
<b>Nombre del equipo o área:</b> Peletizado		
<b>Parte del área:</b> Manifull de distribución		
<b>Parte a inspeccionar :</b> PCP1		
<b>Fecha:</b> 20/07/2013		<b>Descripción de la medición:</b> Espesores por ultrasonido
<b>Tipo de equipo de medición:</b> Modelo 45 MG		
<b>Tipo de material :</b> ASTM A53 grado B		<b>Técnica:</b> pulso-eco
<b>Tamaño nominal del material:</b> Tubería de diámetro de 2 plug.		<b>Nombre de la norma a basarse en la inspección:</b> ASTM E-797
<b>Tipo de palpador:</b> D 790/791		<b>Tipo de acoplante:</b> Glicerina
<b>Bloque de calibración:</b> N° 01 de ASTM A53 GRB y bajo ASTM E-797		
<b>Procedimiento:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación del material</li> <li>• Calibración del equipo</li> <li>• Determinación de puntos críticos</li> <li>• Limpieza de la superficie a inspeccionar</li> <li>• Inspección de los puntos críticos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tabulación de las inspecciones</li> <li>• Indicaciones falsas</li> <li>• Puntos relevantes</li> <li>• Análisis de puntos relevantes</li> <li>• Evaluación de las inspecciones</li> </ul>	
<b>Resultados:</b>		
Se realizó un análisis determinando que existe una falla producto al golpe de ariete presente.		
<b>Observación:</b>		
Existe la presencia de golpe de ariete es debido a la presencia de vibración en el codo, al cambio de dirección del fluido y a la elevada presión de entrada al sistema en dicho punto.		
<b>Espesor nominal:</b> 4mm	<b>Espesor máximo:</b> 3,93mm	<b>Espesor mínimo:</b> 3,16mm
<b>Elaborado por:</b> José Yugcha Víctor Paullán	<b>Revisado por:</b> Ing. Fernando González Ing. Marco Almendariz	<b>Aprobado por:</b> Ing. Fernando González Ing. Marco Almendariz

Fuente: Autores

Tabla 20. Informe tubería del cuadro de control de vapor

<b>Informe N°:</b> 07		
<b>Empresa :</b> Bioalimentar		
<b>Nombre del equipo o área:</b> Peletizado		
<b>Parte del área:</b> Manifull de distribución		
<b>Parte a inspeccionar :</b> PCP6		
<b>Fecha:</b> 14/07/2013		<b>Descripción de la medición:</b>
<b>Tipo de equipo de medición:</b> Modelo 45 MG		Espesores por ultrasonido
<b>Tipo de material :</b> ASTM A53 grado B		<b>Técnica:</b> pulso-eco
<b>Tamaño nominal del material:</b> Tubería de diámetro de 2 plug.		<b>Nombre de la norma a basarse en la inspección:</b> ASTM E-797
<b>Tipo de palpador:</b> D 790/791		<b>Tipo de acoplante:</b> Glicerina
<b>Bloque de calibración:</b> N° 01 y normalizado bajo ASTM E-797		
<b>Procedimiento:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación del material</li> <li>• Calibración del equipo</li> <li>• Determinación de puntos críticos</li> <li>• Limpieza de la superficie a inspeccionar</li> <li>• Inspección de los puntos críticos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tabulación de las inspecciones</li> <li>• Indicaciones falsas</li> <li>• Puntos relevantes</li> <li>• Análisis de puntos relevantes</li> <li>• Evaluación de las inspecciones</li> </ul>	
<b>Resultados:</b>		
Se realizó un análisis determinando que existe una falla producto del arrastre del material interno corroído de la tubería y transportado en el flujo del condensado de vapor.		
<b>Observación:</b>		
Se observa partículas de la degradación de la pared interior de la tubería de distribución de vapor que son arrastradas al tanque de alimentación de los calderos, también éstas se encuentran en las trampas de vapor de la instalación.		
<b>Espesor nominal:</b> 4mm	<b>Espesor máximo:</b> 3,81mm	<b>Espesor mínimo:</b> 3,56mm
<b>Elaborado por:</b> José Yugcha Víctor Paullán	<b>Revisado por:</b> Ing. Fernando González Ing. Marco Almendariz	<b>Aprobado por:</b> Ing. Fernando González Ing. Marco Almendariz

Fuente: Autores

Tabla 21. Informe codo de 90° de entrada del alimentador peletizadora # 2

<b>Informe N°:</b> 08		
<b>Empresa :</b> Bioalimentar		
<b>Nombre del equipo o área:</b> Peletizado		
<b>Parte del área:</b> Manifull de distribución		
<b>Parte a inspeccionar :</b> PCP8		
<b>Fecha:</b> 20/07/2013		<b>Descripción de la medición:</b>
<b>Tipo de equipo de medición:</b> Modelo 45 MG		Espesores por ultrasonido
<b>Tipo de material :</b> ASTM A53 grado B		<b>Técnica:</b> pulso-eco
<b>Tamaño nominal del material:</b> Tubería de diámetro de 2 plug.		<b>Nombre de la norma a basarse en la inspección:</b> ASTM E-797
<b>Tipo de palpador:</b> D 790/791		<b>Tipo de acoplante:</b> Glicerina
<b>Bloque de calibración:</b> N° 01 de ASTM A53 GRB y bajo ASTM E-797		
<b>Procedimiento:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación del material</li> <li>• Calibración del equipo</li> <li>• Determinación de puntos críticos</li> <li>• Limpieza de la superficie a inspeccionar</li> <li>• Inspección de los puntos críticos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tabulación de las inspecciones</li> <li>• Indicaciones falsas</li> <li>• Puntos relevantes</li> <li>• Análisis de puntos relevantes</li> <li>• Evaluación de las inspecciones</li> </ul>	
<b>Resultados:</b>		
Se realizó un análisis determinando que existe una falla producto del golpe de ariete presente.		
<b>Observación:</b>		
Existe la presencia de golpe de ariete es debido a la presencia de vibración en el codo, al cambio de dirección del fluido y a la elevada presión de entrada al sistema en dicho punto.		
<b>Espesor nominal:</b> 4mm	<b>Espesor máximo:</b> 3,81mm	<b>Espesor mínimo:</b> 3,34mm
<b>Elaborado por:</b> José Yugcha Víctor Paullán	<b>Revisado por:</b> Ing. Fernando González Ing. Marco Almendariz	<b>Aprobado por:</b> Ing. Fernando González Ing. Marco Almendariz

Fuente: Autores

Tabla 22. Informe codo 90° de la tubería de la válvula de alivio

<b>Informe N°:</b> 09		
<b>Empresa :</b> Bioalimentar		
<b>Nombre del equipo o área:</b> Peletizado		
<b>Parte del área:</b> Manifull de distribución		
<b>Parte a inspeccionar :</b> PCP10		
<b>Fecha:</b> 14/07/2013	<b>Descripción de la medición:</b>	
<b>Tipo de equipo de medición:</b> Modelo 45 MG	Espesores por ultrasonido	
<b>Tipo de material :</b> ASTM A53 grado B	<b>Técnica:</b> pulso-eco	
<b>Tamaño nominal del material:</b> Tubería de diámetro de 2 plug.	<b>Nombre de la norma a basarse en la inspección:</b> ASTM E-797	
<b>Tipo de palpador:</b> D 790/791	<b>Tipo de acoplante:</b> Glicerina	
<b>Bloque de calibración:</b> N° 01 y normalizado bajo ASTM E-797		
<b>Procedimiento:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación del material</li> <li>• Calibración del equipo</li> <li>• Determinación de puntos críticos</li> <li>• Limpieza de la superficie a inspeccionar</li> <li>• Inspección de los puntos críticos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tabulación de las inspecciones</li> <li>• Indicaciones falsas</li> <li>• Puntos relevantes</li> <li>• Análisis de puntos relevantes</li> <li>• Evaluación de las inspecciones</li> </ul>	
<b>Resultados:</b>		
<p>Se realizó un análisis determinando que existe una falla producto a la reacción del oxígeno con la pared de la tubería de alivio de la línea de vapor.</p>		
<b>Observación:</b>		
<p>Se identificó sobrepresiones de los calderos que incrementan la temperatura de la tubería de distribución de vapor generando la disminución de la humedad relativa de la tubería.</p>		
<b>Espesor nominal:</b> 4mm	<b>Espesor máximo:</b> 4,35mm	<b>Espesor mínimo:</b> 3,40mm
<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
José Yugcha Víctor Paullán	Ing. Fernando González Ing. Marco Almendariz	Ing. Fernando González Ing. Marco Almendariz

Fuente: Autores

Tabla 23. Informe codo 90° de la peletizadora # 2

<b>Informe N°:</b> 10		
<b>Empresa :</b> Bioalimentar		
<b>Nombre del equipo o área:</b> Peletizado		
<b>Parte del área:</b> Manifull de distribución		
<b>Parte a inspeccionar :</b> PCP14		
<b>Fecha:</b> 20/07/2013		<b>Descripción de la medición:</b> Espesores por ultrasonido
<b>Tipo de equipo de medición:</b> Modelo 45 MG		
<b>Tipo de material :</b> ASTM A53 grado B		<b>Técnica:</b> pulso-eco
<b>Tamaño nominal del material:</b> Tubería de diámetro de 2 plug.		<b>Nombre de la norma a basarse en la inspección:</b> ASTM E-797
<b>Tipo de palpador:</b> D 790/791		<b>Tipo de acoplante:</b> Glicerina
<b>Bloque de calibración:</b> N° 01 de ASTM A53 GRB y bajo ASTM E-797		
<b>Procedimiento:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación del material</li> <li>• Calibración del equipo</li> <li>• Determinación de puntos críticos</li> <li>• Limpieza de la superficie a inspeccionar</li> <li>• Inspección de los puntos críticos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tabulación de las inspecciones</li> <li>• Indicaciones falsas</li> <li>• Puntos relevantes</li> <li>• Análisis de puntos relevantes</li> <li>• Evaluación de las inspecciones</li> </ul>	
<b>Resultados:</b>		
Se realizó un análisis determinando que existe una falla producto al golpe de ariete presente.		
<b>Observación:</b>		
Existe la presencia de golpe de ariete es debido a la presencia de vibración en el codo, al cambio de dirección del fluido y al movimiento del anclaje y soporte de la tubería que se encuentra el codo.		
<b>Espesor nominal:</b> 4mm	<b>Espesor máximo:</b> 3,83mm	<b>Espesor mínimo:</b> 3,36mm
<b>Elaborado por:</b> José Yugcha Víctor Paullán	<b>Revisado por:</b> Ing. Fernando González Ing. Marco Almendariz	<b>Aprobado por:</b> Ing. Fernando González Ing. Marco Almendariz

Fuente: Autores

Tabla 24. Informe tubería del cuadro de control de la peletizadora #3

<b>Informe N°:</b> 11		
<b>Empresa :</b> Bioalimentar		
<b>Nombre del equipo o área:</b> Peletizado		
<b>Parte del área:</b> Manifull de distribución		
<b>Parte a inspeccionar :</b> PCP18		
<b>Fecha:</b> 20/07/2013		<b>Descripción de la medición:</b>
<b>Tipo de equipo de medición:</b> Modelo 45 MG		Espesores por ultrasonido
<b>Tipo de material :</b> ASTM A53 grado B		<b>Técnica:</b> pulso-eco
<b>Tamaño nominal del material:</b> Tubería de diámetro de 2 plug.		<b>Nombre de la norma a basarse en la inspección:</b> ASTM E-797
<b>Tipo de palpador:</b> D 790/791		<b>Tipo de acoplante:</b> Glicerina
<b>Bloque de calibración:</b> N° 01 y normalizado bajo ASTM E-797		
<b>Procedimiento:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación del material</li> <li>• Calibración del equipo</li> <li>• Determinación de puntos críticos</li> <li>• Limpieza de la superficie a inspeccionar</li> <li>• Inspección de los puntos críticos</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tabulación de las inspecciones</li> <li>• Indicaciones falsas</li> <li>• Puntos relevantes</li> <li>• Análisis de puntos relevantes</li> <li>• Evaluación de las inspecciones</li> </ul>
<b>Resultados:</b>		
Se realizó un análisis determinando que existe una falla producto del arrastre del material interno corroído de la tubería y trasportado en el flujo del condensado de vapor.		
<b>Observación:</b>		
Se observa partículas de la degradación de la pared interior de la tubería de distribución de vapor que son arrastradas al tanque de alimentación de los calderos, también éstas se encuentran en las trampas de vapor de la instalación.		
<b>Espesor nominal:</b> 4mm	<b>Espesor máximo:</b> 3,75mm	<b>Espesor mínimo:</b> 3,22mm
<b>Elaborado por:</b> José Yugcha Víctor Paullán	<b>Revisado por:</b> Ing. Fernando González Ing. Marco Almendariz	<b>Aprobado por:</b> Ing. Fernando González Ing. Marco Almendariz

Fuente: Autores

Tabla 25. Informe tubería de ingreso al peletizadora #1

<b>Informe N°:</b> 12		
<b>Empresa :</b> Bioalimentar		
<b>Nombre del equipo o área:</b> Peletizado		
<b>Parte del área:</b> Ingreso a la peletizadora		
<b>Parte a inspeccionar :</b> PCP19		
<b>Fecha:</b> 20/07/2013		<b>Descripción de la medición:</b>
<b>Tipo de equipo de medición:</b> Modelo 45 MG		Espesores por ultrasonido
<b>Tipo de material :</b> ASTM A53 grado B		<b>Técnica:</b> pulso-eco
<b>Tamaño nominal del material:</b> Tubería de diámetro de 2 plug.		<b>Nombre de la norma a basarse en la inspección:</b> ASTM E-797
<b>Tipo de palpador:</b> D 790/791		<b>Tipo de acoplante:</b> Glicerina
<b>Bloque de calibración:</b> N° 01 y normalizado bajo ASTM E-797		
<b>Procedimiento:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación del material</li> <li>• Calibración del equipo</li> <li>• Determinación de puntos críticos</li> <li>• Limpieza de la superficie a inspeccionar</li> <li>• Inspección de los puntos críticos</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tabulación de las inspecciones</li> <li>• Indicaciones falsas</li> <li>• Puntos relevantes</li> <li>• Análisis de puntos relevantes</li> <li>• Evaluación de las inspecciones</li> </ul>
<b>Resultados:</b>		
Se realizó un análisis determinando que existe una falla producto del arrastre del material interno corroído de la tubería y trasportado en el flujo del condensado de vapor.		
<b>Observación:</b>		
Se observa partículas de la degradación de la pared interior de la tubería de distribución de vapor que son arrastradas al tanque de alimentación de los calderos, también éstas se encuentran en las trampas de vapor de la instalación.		
<b>Espesor nominal:</b> 4mm	<b>Espesor máximo:</b> 3,90mm	<b>Espesor mínimo:</b> 3,51mm
<b>Elaborado por:</b> José Yugcha Víctor Paullán	<b>Revisado por:</b> Ing. Fernando González Ing. Marco Almendariz	<b>Aprobado por:</b> Ing. Fernando González Ing. Marco Almendariz

Fuente: Autores

Tabla 26. Informe codo 90 ° de ingreso a la peletizadora #3 tramo 1

<b>Informe N°:</b> 13		
<b>Empresa :</b> Bioalimantar		
<b>Nombre del equipo o área:</b> Peletizado		
<b>Parte del área:</b> Ingreso a la peletizadora		
<b>Parte a inspeccionar :</b> PCP20		
<b>Fecha:</b> 20/07/2013		<b>Descripción de la medición:</b>
<b>Tipo de equipo de medición:</b> Modelo 45 MG		Espesores por ultrasonido
<b>Tipo de material :</b> ASTM A53 grado B		<b>Técnica:</b> pulso-eco
<b>Tamaño nominal del material:</b> Tubería de diámetro de 2 plug.		<b>Nombre de la norma a basarse en la inspección:</b> ASTM E-797
<b>Tipo de palpador:</b> D 790/791		<b>Tipo de acoplante:</b> Glicerina
<b>Bloque de calibración:</b> N° 01 de ASTM A53 GRB y bajo ASTM E-797		
<b>Procedimiento:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación del material</li> <li>• Calibración del equipo</li> <li>• Determinación de puntos críticos</li> <li>• Limpieza de la superficie a inspeccionar</li> <li>• Inspección de los puntos críticos</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tabulación de las inspecciones</li> <li>• Indicaciones falsas</li> <li>• Puntos relevantes</li> <li>• Análisis de puntos relevantes</li> <li>• Evaluación de las inspecciones</li> </ul>
<b>Resultados:</b>		
Se realizó un análisis determinando que existe una falla producto al golpe de ariete presente.		
<b>Observación:</b>		
Existe la presencia de golpe de ariete debido a la presencia de vibración en el codo, al cambio de dirección del fluido y al presión de entrada a la peletizadora # 3.		
<b>Espesor nominal:</b> 4mm	<b>Espesor máximo:</b> 3,84mm	<b>Espesor mínimo:</b> 3,52mm
<b>Elaborado por:</b> José Yugcha Víctor Paullán	<b>Revisado por:</b> Ing. Fernando González Ing. Marco Almendariz	<b>Aprobado por:</b> Ing. Fernando González Ing. Marco Almendariz

Fuente: Autores

Tabla 27. Informe tubería recta de ingreso a la peletizadora #3 tramo 2

<b>Informe N°:</b> 14		
<b>Empresa :</b> Bioalimentar		
<b>Nombre del equipo o área:</b> Peletizado		
<b>Parte del área:</b> Ingreso a la peletizadora		
<b>Parte a inspeccionar :</b> PCP21		
<b>Fecha:</b> 20/07/2013		<b>Descripción de la medición:</b>
<b>Tipo de equipo de medición:</b> Modelo 45 MG		Espesores por ultrasonido
<b>Tipo de material :</b> ASTM A53 grado B		<b>Técnica:</b> pulso-eco
<b>Tamaño nominal del material:</b> Tubería de diámetro de 2 plug.		<b>Nombre de la norma a basarse en la inspección:</b> ASTM E-797
<b>Tipo de palpador:</b> D 790/791		<b>Tipo de acoplante:</b> Glicerina
<b>Bloque de calibración:</b> N° 01 y normalizado bajo ASTM E-797		
<b>Procedimiento:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación del material</li> <li>• Calibración del equipo</li> <li>• Determinación de puntos críticos</li> <li>• Limpieza de la superficie a inspeccionar</li> <li>• Inspección de los puntos críticos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tabulación de las inspecciones</li> <li>• Indicaciones falsas</li> <li>• Puntos relevantes</li> <li>• Análisis de puntos relevantes</li> <li>• Evaluación de las inspecciones</li> </ul>	
<b>Resultados:</b>		
Se realizó un análisis determinando que existe una falla producto del arrastre del material interno corroído de la tubería y trasportado en el flujo del condensado de vapor.		
<b>Observación:</b>		
Se observa partículas de la degradación de la pared interior de la tubería de distribución de vapor que son arrastradas al tanque de alimentación de los calderos, también éstas se encuentran en las trampas de vapor de la instalación.		
<b>Espesor nominal:</b> 4mm	<b>Espesor máximo:</b> 4,02mm	<b>Espesor mínimo:</b> 3,34mm
<b>Elaborado por:</b> José Yugcha Víctor Paullán	<b>Revisado por:</b> Ing. Fernando González Ing. Marco Almendariz	<b>Aprobado por:</b> Ing. Fernando González Ing. Marco Almendariz

Fuente: Autores

Tabla 28. Informe codo 90° de ingreso a la peletizadora #3 tramo 3

<b>Informe N°:</b> 15		
<b>Empresa :</b> Bioalimentar		
<b>Nombre del equipo o área:</b> Peletizado		
<b>Parte del área:</b> Ingreso a la peletizadora		
<b>Parte a inspeccionar :</b> PCP22		
<b>Fecha:</b> 20/07/2013		<b>Descripción de la medición:</b>
<b>Tipo de equipo de medición:</b> Modelo 45 MG		Espesores por ultrasonido
<b>Tipo de material :</b> ASTM A53 grado B		<b>Técnica:</b> pulso-eco
<b>Tamaño nominal del material:</b> Tubería de diámetro de 2 plug.		<b>Nombre de la norma a basarse en la inspección:</b> ASTM E-797
<b>Tipo de palpador:</b> D 790/791		<b>Tipo de acoplante:</b> Glicerina
<b>Bloque de calibración:</b> N° 01 de ASTM A53 GRB y bajo ASTM E-797		
<b>Procedimiento:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación del material</li> <li>• Calibración del equipo</li> <li>• Determinación de puntos críticos</li> <li>• Limpieza de la superficie a inspeccionar</li> <li>• Inspección de los puntos críticos</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tabulación de las inspecciones</li> <li>• Indicaciones falsas</li> <li>• Puntos relevantes</li> <li>• Análisis de puntos relevantes</li> <li>• Evaluación de las inspecciones</li> </ul>
<b>Resultados:</b>		
Se realizó un análisis determinando que existe una falla producto al golpe de ariete presente.		
<b>Observación:</b>		
Existe la presencia de golpe de ariete es debido a la presencia de vibración en el codo, al cambio de dirección del fluido, al movimiento del anclaje de la tubería y al presión de entrada a la peletizadora # 3.		
<b>Espesor nominal:</b> 4mm	<b>Espesor máximo:</b> 3,97mm	<b>Espesor mínimo:</b> 3,30mm
<b>Elaborado por:</b> José Yugcha Víctor Paullán	<b>Revisado por:</b> Ing. Fernando González Ing. Marco Almendariz	<b>Aprobado por:</b> Ing. Fernando González Ing. Marco Almendariz

Fuente: Autores

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Tabulación de datos obtenidos

4.1.1 *Tabulación de datos del área de extrusión.* Se procedió a la toma de ocho puntos críticos en el área de extrusión (ver Tabla 29).

Tabla 29. Puntos de medición del área de extrusión

Punto crítico	Máximo espesor	Mínimo espesor	Punto de medición	Espesor	Unidad	Modo	Tipo	Cambio
			001	3,510	mm	THK	0002	Falso
<b>1</b>	3,510	3,140	002	3,460	mm	THK	0002	Falso
			003	3,140	mm	THK	0002	Falso
			004	3,400	mm	THK	0002	Falso
			009	2,870	mm	THK	0002	Falso
<b>2</b>	3,730	3,510	010	3,510	mm	THK	0002	Falso
			011	3,580	mm	THK	0002	Falso
			012	3,730	mm	THK	0002	Falso
			013	3,640	mm	THK	0002	Falso
<b>3</b>	3,810	3,630	014	3,630	mm	THK	0002	Falso
			015	3,810	mm	THK	0002	Falso
			016	4,010	mm	THK	0002	Falso
			017	4,080	mm	THK	0002	Falso
<b>4</b>	4,600	4,080	018	4,600	mm	THK	0002	Falso
			019	4,230	mm	THK	0002	Falso
			020	4,110	mm	THK	0002	Falso
			021	5,090	mm	THK	0002	Falso
<b>5</b>	5,100	4,350	022	4,350	mm	THK	0002	Falso
			023	5,100	mm	THK	0002	Falso
			024	4,770	mm	THK	0002	Falso
			025	4,590	mm	THK	0002	Falso
<b>6</b>	4,130	3,350	026	4,130	mm	THK	0002	Falso
			027	3,660	mm	THK	0002	Falso

Tabla 29. (Continuación)

			028	3,350	mm	THK	0002	Falso
			029	3,370	mm	THK	0002	Falso
<b>7</b>	3,560	3,070	030	3,190	mm	THK	0002	Falso
			031	3,070	mm	THK	0002	Falso
			032	3,560	mm	THK	0002	Falso
			033	2,350	mm	THK	0002	Falso
<b>8</b>	2,850	2,350	034	2,490	mm	THK	0002	Falso
			035	2,850	mm	THK	0002	Falso
			036	2,600	mm	THK	0002	Falso

Fuente: Autores

**4.1.2** *Tabulación de datos del área de peletizado.* Se procedió a la toma de 24 puntos en el área de peletizado que fueron registrados en el equipo de medición.

Tabla 30. Puntos de medición del área de peletizado

<b>Punto crítico</b>	<b>Máximo espesor</b>	<b>Mínimo espesor</b>	<b>Punto de medición</b>	<b>Espesor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Modo</b>	<b>Tipo</b>	<b>Cambio</b>
			001	3,210	mm	THK	0002	Falso
<b>1</b>	3,930	3,160	002	3,760	mm	THK	0002	Falso
			003	3,930	mm	THK	0002	Falso
			004	3,160	mm	THK	0002	Falso
			005	3,960	mm	THK	0002	Falso
<b>2</b>	4,230	3,780	006	4,230	mm	THK	0002	Falso
			007	3,920	mm	THK	0002	Falso
			008	3,780	mm	THK	0002	Falso
			009	4,050	mm	THK	0002	Falso
<b>3</b>	4,270	3,960	010	4,100	mm	THK	0002	Falso
			011	4,270	mm	THK	0002	Falso
			012	3,960	mm	THK	0002	Falso
			013	3,850	mm	THK	0002	Falso
<b>4</b>	4,260	3,850	014	4,240	mm	THK	0002	Falso
			015	3,870	mm	THK	0002	Falso
			016	4,260	mm	THK	0002	Falso
			017	4,260	mm	THK	0002	Falso
<b>5</b>	4,710	3,840	018	3,840	mm	THK	0002	Falso
			019	4,710	mm	THK	0002	Falso
			020	4,120	mm	THK	0002	Falso
			021	3,590	mm	THK	0002	Falso

Tabla 30. (Continuación)

<b>6</b>	4,190	3,590	022	3,810	mm	THK	0002	Falso
			023	4,190	mm	THK	0002	Falso
			024	3,800	mm	THK	0002	Falso
			025	3,920	mm	THK	0002	Falso
<b>7</b>	4,500	3,830	026	3,830	mm	THK	0002	Falso
			027	4,500	mm	THK	0002	Falso
			028	3,930	mm	THK	0002	Falso
			029	4,200	mm	THK	0002	Falso
<b>8</b>	4,200	3,340	030	3,340	mm	THK	0002	Falso
			031	3,810	mm	THK	0002	Falso
			032	3,790	mm	THK	0002	Falso
			033	4,340	mm	THK	0002	Falso
<b>9</b>	4,340	4,060	034	4,170	mm	THK	0002	Falso
			035	4,060	mm	THK	0002	Falso
			036	4,160	mm	THK	0002	Falso
			037	4,350	mm	THK	0002	Falso
<b>10</b>	4,830	3,400	038	3,450	mm	THK	0002	Falso
			039	4,830	mm	THK	0002	Falso
			040	3,400	mm	THK	0002	Falso
			041	3,980	mm	THK	0002	Falso
<b>11</b>	4,090	3,850	042	3,860	mm	THK	0002	Falso
			043	3,850	mm	THK	0002	Falso
			044	4,090	mm	THK	0002	Falso
			045	3,870	mm	THK	0002	Falso
<b>12</b>	3,900	3,830	046	3,900	mm	THK	0002	Falso
			047	3,830	mm	THK	0002	Falso
			048	3,830	mm	THK	0002	Falso
			049	4,200	mm	THK	0002	Falso
<b>13</b>	4,200	3,650	050	4,200	mm	THK	0002	Falso
			051	4,200	mm	THK	0002	Falso
			052	3,650	mm	THK	0002	Falso
			053	3,610	mm	THK	0002	Falso
<b>14</b>	3,830	3,360	054	3,830	mm	THK	0002	Falso
			055	3,590	mm	THK	0002	Falso
			056	3,360	mm	THK	0002	Falso
			057	3,660	mm	THK	0002	Falso
<b>15</b>	3,830	3,660	058	3,740	mm	THK	0002	Falso
			059	3,830	mm	THK	0002	Falso
			060	3,760	mm	THK	0002	Falso
			061	3,810	mm	THK	0002	Falso

Tabla 30. (Continuación)

<b>16</b>	3,870	3,610	062	3,870	mm	THK	0002	Falso
			063	3,760	mm	THK	0002	Falso
			064	3,610	mm	THK	0002	Falso
			065	3,900	mm	THK	0002	Falso
<b>17</b>	5,040	3,840	066	4,140	mm	THK	0002	Falso
			067	5,040	mm	THK	0002	Falso
			068	3,840	mm	THK	0002	Falso
			069	3,750	mm	THK	0002	Falso
<b>18</b>	4,100	3,220	070	4,100	mm	THK	0002	Falso
			071	3,220	mm	THK	0002	Falso
			072	3,220	mm	THK	0002	Falso
			073	3,510	mm	THK	0002	Falso
<b>19</b>	3,900	3,510	074	3,790	mm	THK	0002	Falso
			075	3,900	mm	THK	0002	Falso
			076	3,750	mm	THK	0002	Falso
			077	3,780	mm	THK	0002	Falso
<b>20</b>	4,080	3,520	078	4,080	mm	THK	0002	Falso
			079	3,520	mm	THK	0002	Falso
			080	3,840	mm	THK	0002	Falso
			081	3,740	mm	THK	0002	Falso
<b>21</b>	4,080	3,340	082	3,340	mm	THK	0002	Falso
			083	4,080	mm	THK	0002	Falso
			084	4,020	mm	THK	0002	Falso
			085	4,050	mm	THK	0002	Falso
<b>22</b>	4,050	3,300	086	3,970	mm	THK	0002	Falso
			087	3,300	mm	THK	0002	Falso
			088	3,750	mm	THK	0002	Falso
			089	3,720	mm	THK	0002	Falso
<b>23</b>	4,030	3,720	090	3,850	mm	THK	0002	Falso
			091	4,030	mm	THK	0002	Falso
			092	3,880	mm	THK	0002	Falso
<b>24</b>	4,060	3,96	093	4,060	mm	THK	0002	Falso
			094	3,96	mm	THK	0002	Falso

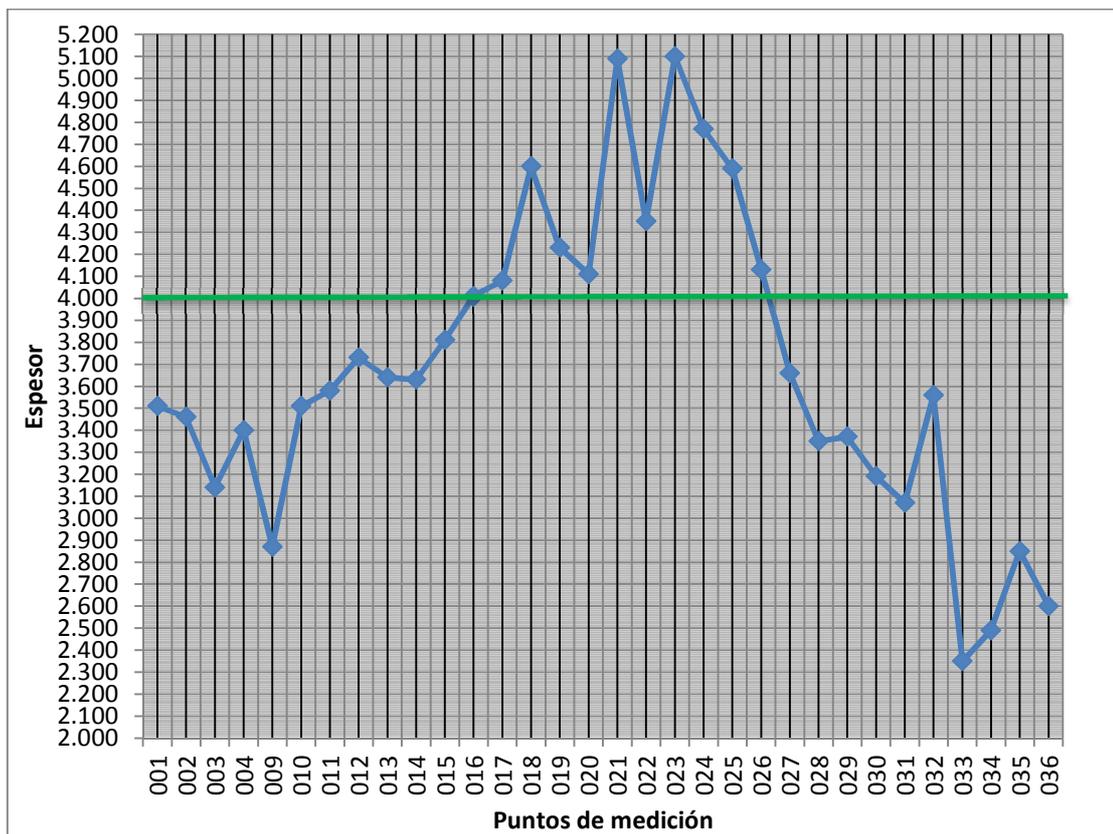
Fuente: Autores

Por medio de la tabulación de datos se puede generar diversos criterios que servirán para la realización posterior del análisis de datos. En los valores obtenidos en cada inspección realizada se pueden notar ciertas desviaciones de estos valores.

## 4.2 Indicaciones de datos

Estadísticamente se muestra las mediciones de los puntos inspeccionados en el área de extrusión.

Figura 70. Puntos de medición de extrusión



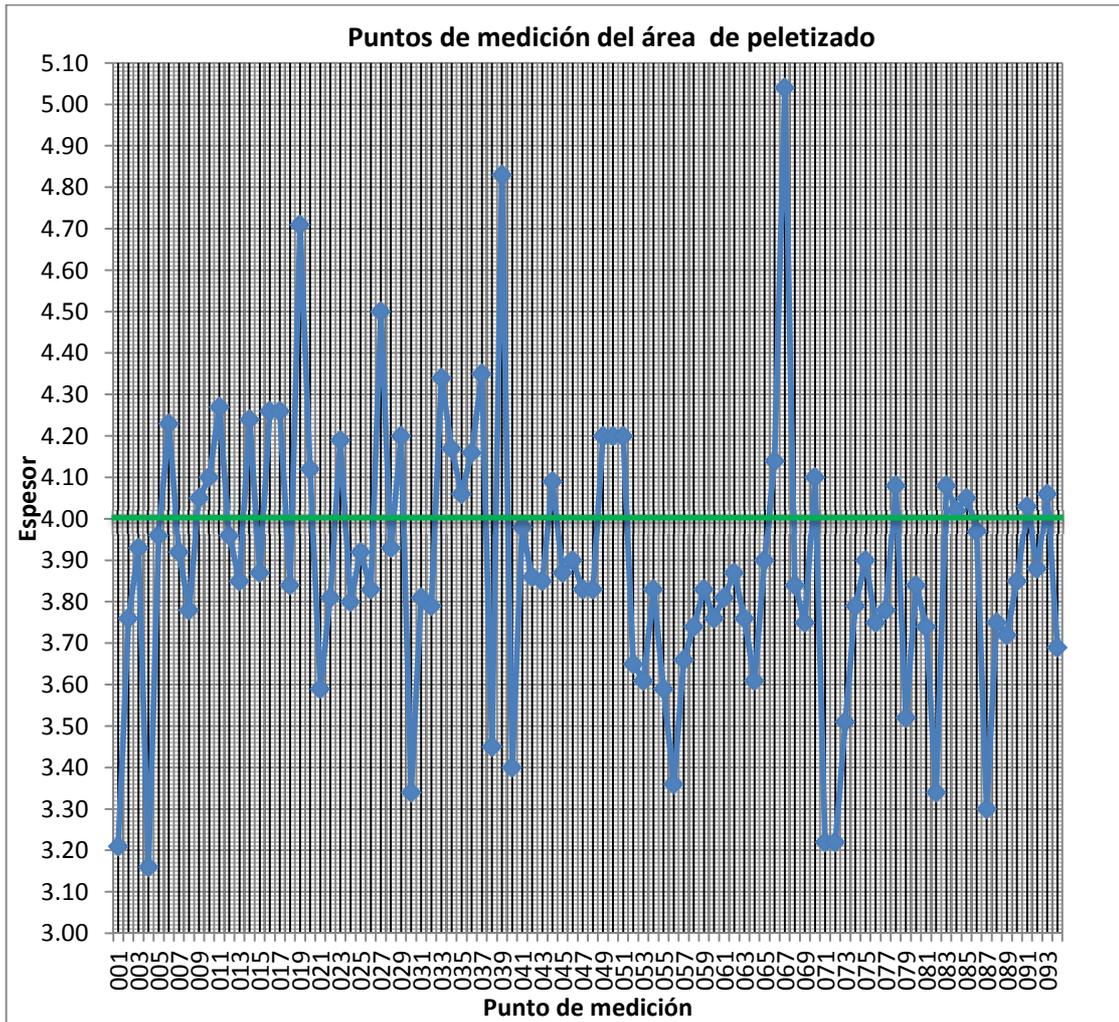
Fuente: Autores

En la estadística de las mediciones se pudo observar una desviación de los picos altos de los valores obtenidos en las inspecciones realizadas en el área de extrusión y se estableció la necesidad de un análisis de datos y la consideración de las tolerancias admisibles para espesores de tuberías bajo la norma ASME B16.9M.

Se puede también observar errores de medición producto de una mala preparación de una superficie inspeccionada en los puntos 033, 034 y 036.

Se muestra las estadísticas de las mediciones de los puntos inspeccionados del área de peletizado (ver Figura 71).

Figura 71. Puntos de medición de peletizado



Fuente: Autores

En la estadística de las mediciones se pudo observar una desviación considerable de los picos altos y bajos de los valores de espesores de las inspecciones realizadas en el área de peletizado y la consideración de las tolerancias admisibles para espesores bajo la norma ASME B16.9M, siendo necesario un análisis de indicaciones de datos, que tiene como finalidad clasificar los datos en dos grupos que son; indicaciones falsas y relevantes.

**4.2.1 Indicaciones falsas.** Las indicaciones falsas o errores de medición se produjeron por diversos factores durante la medición como; falta de preparación de la superficie a inspeccionar, pulso de la mano de la persona a cargo de realizar la inspección y una fuerza excedida sobre el palpador durante la medición.

La representación de las indicaciones falsas se las extrajo del grupo de la tabulación de datos en las inspecciones realizadas y se las coloreo para distinguirlas e indicar el punto crítico al que pertenece y para proseguir en el análisis. También se han separado todas las indicaciones falsas del proceso de análisis tanto del área de extrusión así como la de peletizado respectivamente.

Tabla 31. Indicaciones falsas de las mediciones del área de extrusión

Punto crítico	Punto de medición	Espesor	Unidad	Modo	Tipo	Cambio
PCE2	009	2,87	mm	THK	0002	Falso
PCE3	016	4,01	mm	THK	0002	Falso
PCE4	018	4,60	mm	THK	0002	Falso
PCE5	023	5,10	mm	THK	0002	Falso
PCE6	025	4,59	mm	THK	0002	Falso

Fuente: Autores

Existen indicaciones falsas de los puntos críticos del área de extrusión, debido a influencia de varios factores durante la medición que fueron mencionados anteriormente. Se tomó estos valores de mediciones como indicaciones falsas debido a que estos valores tenían una desviación considerable con respecto a los demás puntos de medición de cada punto crítico inspeccionado.

Tabla 32. Indicaciones falsas de las mediciones del área de peletizado

Punto crítico	Punto medición	Espesor	Unidad	Modo	Tipo	Cambio
PCP2	009	4,23	mm	THK	0002	Falso
PCP3	016	4,27	mm	THK	0002	Falso
	014	4,24	mm	THK	0002	Falso
PCP4	016	4,26	mm	THK	0002	Falso
PCP5	019	4,71	mm	THK	0002	Falso
PCP6	023	4,19	mm	THK	0002	Falso
PCP7	027	4,50	mm	THK	0002	Falso
PCP8	029	4,20	mm	THK	0002	Falso
PCP9	033	4,34	mm	THK	0002	Falso
PCP10	039	4,83	mm	THK	0002	Falso
PCP11	044	4,09	mm	THK	0002	Falso

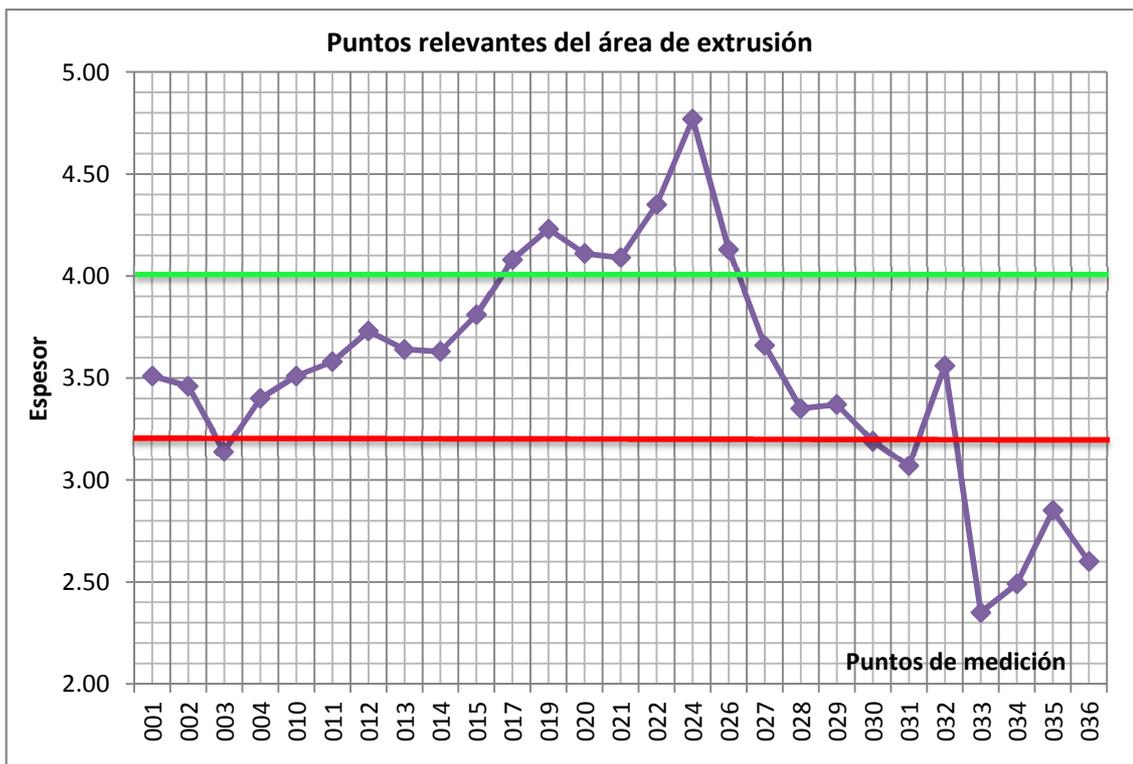
Fuente: Autores

Existen indicaciones falsas de los puntos críticos del área de peletizado, debido a influencia de los factores durante la medición que fueron mencionados anteriormente y a un mayor número de puntos inspeccionados. Se tomó estos valores de mediciones como indicaciones falsas debido a que tenían una desviación considerable con respecto a los demás puntos de medición de cada punto crítico inspeccionado.

**4.2.2 Indicaciones relevantes.** Las indicaciones relevantes son todas las lecturas a excepción como mencionó anteriormente de los errores de mediciones. Las indicaciones relevantes nos indican los valores a ser considerados en el proceso de evaluación de los datos obtenidos (ver Figura 72).

*Área de extrusión*

Figura 72. Puntos relevantes del área de extrusión



Fuente: Autores

Como se puede observar con la eliminación de las indicaciones falsas de los puntos inspeccionados se puede notar una menor desviación considerable, debido a que, se ha reducido en gran medida los errores de medición y se puede obtener así un mejor resultado en la evaluación de puntos críticos inspeccionados.

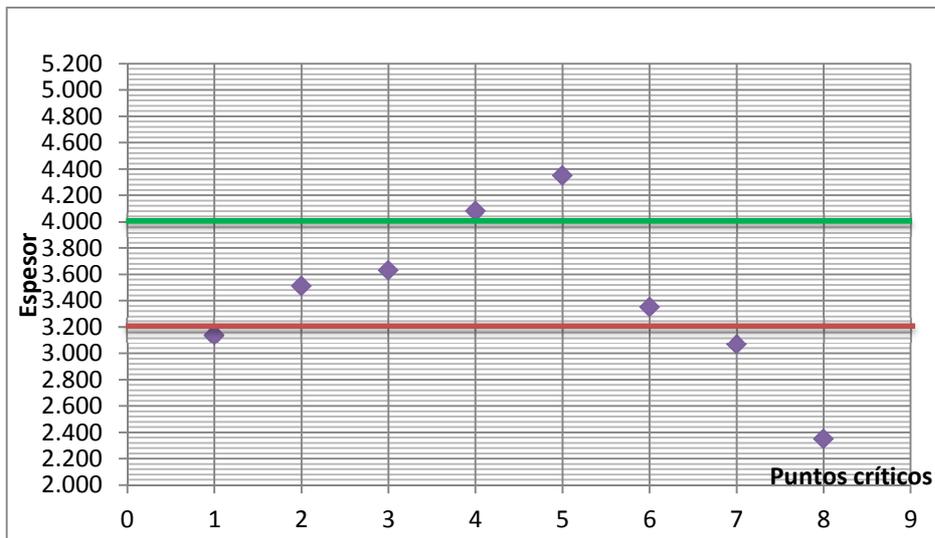
Figura 73. Espesores máximos de los puntos críticos de extrusión



Fuente: Autores

Los espesores máximos de los puntos críticos del área de extrusión nos muestran la tendencia de incremento del espesor medido en las inspecciones realizadas que posteriormente nos servirá para la determinación de las fallas. En el punto crítico número cinco tiene una alta desviación debido a la incrustación del producto en proceso que se adhiere sobre la pared exterior de la tubería de distribución.

Figura 74. Espesores mínimos de los puntos críticos de extrusión



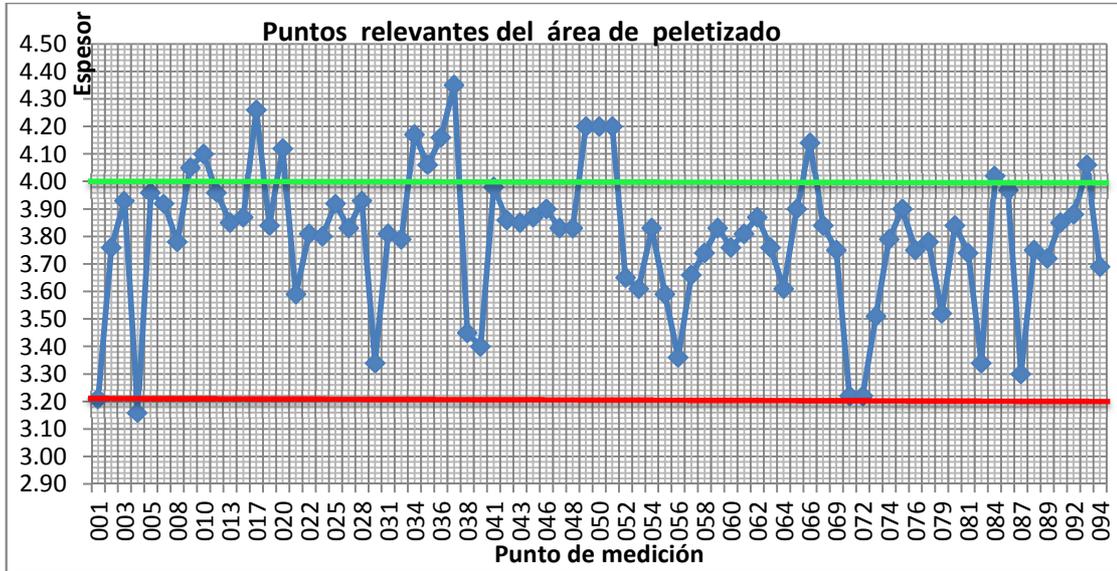
Fuente: Autores

Los espesores mínimos de los puntos críticos del área de extrusión nos permitirán obtener los requerimientos de los espesores mínimos de las mediciones de la pared de

la tubería inspeccionada que se necesita para la evaluación de datos bajo la norma ASME B31G.

*Área de peletizado*

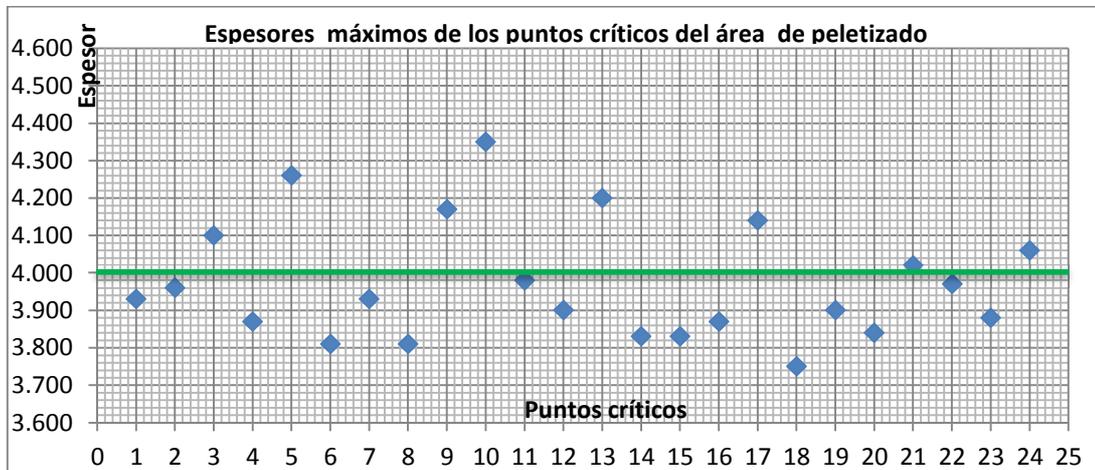
Figura 75. Puntos relevantes del área de peletizado



Fuente: Autores

Como se puede observar, con la eliminación de las indicaciones falsas en los puntos inspeccionados se obtuvo una menor desviación considerable, debido a que, se ha reducido en gran medida los errores de medición y se podrá tener un mejor resultado en la evaluación de los datos de los puntos críticos inspeccionados.

Figura 76. Espesores máximos de los puntos críticos de peletizado.



Fuente: Autores

Los espesores máximos de los puntos críticos del área de peletizado nos muestran la tendencia de incremento del espesor medido en las inspecciones realizadas que posteriormente nos servirá para la determinación de la fallas de cada uno de los puntos críticos. Los puntos críticos número cinco y diez presentan una alta desviación debido a la incrustación del producto en proceso que se adhiere sobre la pared exterior de la tubería de distribución.

Figura 77. Espesores mínimos de los puntos críticos de peletizado



Fuente: Autores

Los espesores mínimos de los puntos críticos del área de peletizado nos permitirán obtener los requerimientos de los espesores mínimos de las mediciones de la pared de la tubería inspeccionada que necesitaremos para la evaluación de datos bajo la norma ASME B31G.

### 4.3 Evaluación de los datos

**4.3.1 Evaluación de datos relevantes.** La evaluación de los datos se lo determinó de las indicaciones realizadas en los puntos críticos del área de peletizado y extrusión en base a las especificaciones de la norma ASME B31G. La norma mencionada evalúa bajo ciertos criterios de evaluación que se tomaron de una manera técnica y teniendo en cuenta los lineamientos de dicha normativa.

Tabla 33. Evaluación de los puntos críticos inspeccionados bajo ASME B31G

Punto Crítico	Identificación	Área de la planta	Espesor nominal (t) [mm]	Diámetro exterior (D) [mm]	Valor Mínimo medido [mm]	Valor (d) [mm]	% de la profundidad de la picadura	I ETAPA	Valor de B	Máxima longitud axial permitida del área corroída (L) [mm]	Máxima Longitud axial admisible bajo la norma ASME B31 G sec. 3 (L) [mm]	Longitud axial medida del área corroída (LM) [mm]	II ETAPA 1° condición	Valor del factor adimensional A	Presión calculada para tuberías de acero (P) [PSI]	Presión máxima segura del área corroída (P') [PSI]	Máxima Presión Admisible de operación (MAOP) [PSI]	II ETAPA 2° condición
PCE1	Codo de 90° maníflul de extruccion antes de valvula de apertura.	Extrusión	4,00	50,8	3,14	0,86	21,5		2,28	36,33	49,21	50,00		2,28	2755,91	3140,16	1666,67	Controlar la corrosión
PCE2	Tubería salida de la valvula de alivio	Extrusión	4,00	50,8	3,51	0,49	12,25		4	63,86	74,61	50,00	Controlar la corrosión					
PCE3	Salida de la valvula de alivio antes de la regulacion.	Extrusión	4,00	50,8	3,63	0,37	9,25	Seguir en servicio.										
PCE4	Salida de la valvula de alivio	Extrusión	4,00	50,8	4,08	0,08	2	Seguir en servicio.										
PCE5	Codo de 90° antes de la regulacion.	Extrusión	4,00	50,8	4,35	0,035	8,75	Seguir en servicio.										
PCE6	Tubería control del maníflul de extrusion.	Extrusión	4,00	50,8	3,35	0,065	16,25		4,00	63,86	49,21	50,00	Controlar la corrosión					
PCE7	Tubería de ingreso a extrusion	Extrusión	3,38	25,4	3,07	0,53	14,72		4,00	42,84	48,08	50,00		4	4960,63	4653,35	1666,67	Controlar la corrosión
PCE8	Tubería de ingreso a extrusion	Extrusión	3,38	25,4	2,35	1,03	30,47		1,31	13,56	19,05	50,00		1,31	4657,48	6483,9	1666,67	Controlar la corrosión
PCE1	Codo de 90° de la línea de ingreso a peletizado.	Peletizado	4,00	50,8	3,16	0,84	21		2,39	38,19	49,21	50,00		2,39	2755,91	3111	1666,67	Controlar la corrosión
PCP2	Tubería del cuadro de control de vapor	Peletizado	4,00	50,8	3,78	0,22	5,5	Seguir en servicio.										
PCP3	Tubería del cuadro de control de vapor	Peletizado	4,00	50,8	3,96	0,04	1	Seguir en servicio.										
PCP4	Tubería del cuadro de control de vapor	Peletizado	4,00	50,8	3,85	0,15	3,75	Seguir en servicio.										
PCP5	Tubería del cuadro de control de vapor	Peletizado	4,00	50,8	3,84	0,16	4	Seguir en servicio.										
PCP6	Tubería del cuadro de control de vapor	Peletizado	4,00	50,8	3,59	0,41	10,25		4,00	63,86	68,26	50,00	Controlar la corrosión					
PCP7	Entrada del alimentador peletizadora #2	Peletizado	4,00	50,8	3,83	0,17	4,25	Seguir en servicio.										

Tabla 33. (Continuación)

PCP8	Codo de 90° de entrada del alimentador peletizadora # 2	Peletizado	4,00	50,8	3,34	0,66	16,5		4,00	63,86	49,21	50,00	Controlar la corrosión					
PCP9	Tubería de la válvula de alivio.	Peletizado	4,00	50,8	4,06	0,06	1,5	Regresar al servicio.										
PCP10	Codo 90° de la tubería de la válvula de alivio	Peletizado	4,00	50,8	3,4	0,6	15		4,00	63,86	68,26	50,00	Controlar la corrosión					
PCP11	Tubería sobre la válvula de alivio.	Peletizado	4,00	50,8	3,85	0,15	3,75	Seguir en servicio.										
PCP12	Tubería de distribución peletizadora # 2	Peletizado	4,00	50,8	3,83	0,17	4,25	Seguir en servicio.										
PCP13	Codo 90° de la pelizadora # 2	Peletizado	4,00	50,8	3,65	0,35	8,75	Seguir en servicio.										
PCP14	Codo 90° de la pelizadora # 2	Peletizado	4,00	50,8	3,36	0,64	16		4,00	63,86	49,21	50,00	Controlar la corrosión					
PCP15	Tubería del cuadro de control de la peletizadora # 1	Peletizado	4,00	50,8	3,66	0,34	8,5	Seguir en servicio.										
PCP16	Tubería del cuadro de control de la peletizadora #2	Peletizado	4,00	50,8	3,61	0,39	9,75	Seguir en servicio.										
PCP17	Tubería del cuadro de control de la peletizadora # 3	Peletizado	4,00	50,8	3,84	0,16	4	Seguir en servicio.										
PCP18	Tubería del cuadro de control de la peletizadora #3	Peletizado	4,00	50,8	3,22	0,78	19,5		2,85	45,55	49,21	50,00		2,85	2755,91	3027,95	1666,67	Controlar la corrosión
PCP19	Tubería de ingreso al peletizadora # 1	Peletizado	4,00	50,8	3,51	0,49	12,25		4,00	63,86	68,26	50,00	Controlar la corrosión					
PCP20	Codo 90° de ingreso al peletizadora #3 Tramo 1	Peletizado	4,00	50,8	3,52	0,48	12		4,00	63,86	68,26	50,00	Controlar la corrosión					
PCP21	Tubería recta de la salida a la peletizadora #3 Tramo 2	Peletizado	4,00	50,8	3,34	0,66	16,5		4,00	63,86	49,21	50,00	Controlar la corrosión					
PCP22	Codo 90° de salida al peletizadora #3 Tramo 2	Peletizado	4,00	50,8	3,3	0,67	16,75		4,00	63,86	49,21	50,00	Controlar la corrosión					
PCP23	Tubería vertical del tramo 1 de ingreso al peletizadora #3 Tramo 2	Peletizado	4,00	50,8	3,72	0,28	7	Seguir en servicio.										
PCP24	Tubería recta al ingreso a la peletizadora # 1	Peletizado	4,00	50,8	3,69	0,31	7,75	Seguir en servicio.										

Fuente: Autores

Por la evaluación realizada en los puntos críticos inspeccionados se procederá al análisis de dichos puntos, para posteriormente realizar la determinación de fallas. Como resultado de la evaluación realizada se determinó que existen 15 puntos críticos que necesitan un control de la corrosión y regresar al servicio que están realizando en el proceso, razón a que estos valores de espesores inspeccionados están dentro del rango establecido de 10 % al 80% con respecto al valor del espesor nominal de la tubería de acuerdo a las especificaciones de la norma ASME B31G.

Existe 17 puntos críticos que no necesitan ninguna acción para realizarse debido a que los valores de espesores inspeccionados se encuentran en un rango menor al 10% del valor del espesor nominal de la tubería de vapor de acuerdo a las especificaciones de la norma mencionada anteriormente, también dichos valores de los espesores inspeccionados se encuentran por debajo de 12,5% de la tolerancia admisible de corrosión para tuberías de acuerdo a la norma ASME B 16.9 M.

#### 4.4 Resultados relevantes de las inspecciones realizadas en la línea de vapor

Existen algunas acciones que se procederán a tomar en los puntos críticos evaluados en base a las especificaciones de la evaluación realizada bajo la norma ASME B31G (ver Tabla 34).

Tabla 34. Acciones a tomar en los puntos críticos

Área	Punto Crítico	Etapas de Evaluación	Acción a tomar
Extrusión	PCE1	II ETAPA	Controlar la corrosión y poner en servicio
Extrusión	PCE2	II ETAPA	Controlar la corrosión y poner en servicio
Extrusión	PCE3	I ETAPA	Seguir en servicio
Extrusión	PCE4	I ETAPA	Seguir en servicio
Extrusión	PCE5	I ETAPA	Seguir en servicio
Extrusión	PCE6	II ETAPA	Controlar la corrosión y poner en servicio
Extrusión	PCE7	II ETAPA	Controlar la corrosión y poner en servicio
Extrusión	PCE8	II ETAPA	Controlar la corrosión y poner en servicio
Peletizado	PCP1	II ETAPA	Controlar la corrosión y poner en servicio
Peletizado	PCP2	I ETAPA	Seguir en servicio
Peletizado	PCP3	I ETAPA	Seguir en servicio

Tabla 34. (Continuación)

Peletizado	PCP4	I ETAPA	Seguir en servicio
Peletizado	PCP5	I ETAPA	Seguir en servicio
Peletizado	PCP6	II ETAPA	Controlar la corrosión y poner en servicio
Peletizado	PCP7	I ETAPA	Seguir en servicio
Peletizado	PCP8	II ETAPA	Controlar la corrosión y poner en servicio
Peletizado	PCP9	I ETAPA	Seguir en servicio
Peletizado	PCP10	II ETAPA	Controlar la corrosión y poner en servicio
Peletizado	PCP11	I ETAPA	Seguir en servicio
Peletizado	PCP12	I ETAPA	Seguir en servicio
Peletizado	PCP13	I ETAPA	Seguir en servicio
Peletizado	PCP14	II ETAPA	Controlar la corrosión y poner en servicio
Peletizado	PCP15	I ETAPA	Seguir en servicio
Peletizado	PCP16	I ETAPA	Seguir en servicio
Peletizado	PCP17	I ETAPA	Seguir en servicio
Peletizado	PCP18	II ETAPA	Controlar la corrosión y poner en servicio
Peletizado	PCP19	II ETAPA	Controlar la corrosión y poner en servicio
Peletizado	PCP20	II ETAPA	Controlar la corrosión y poner en servicio
Peletizado	PCP21	II ETAPA	Controlar la corrosión y poner en servicio
Peletizado	PCP22	II ETAPA	Controlar la corrosión y poner en servicio
Peletizado	PCP23	I ETAPA	Seguir en servicio
Peletizado	PCP24	I ETAPA	Seguir en servicio

Fuente: Autores

Los resultados de la evaluación de los puntos críticos inspeccionados, brindan información sobre la etapa donde se encuentra dicho punto crítico y las acciones que se deberá posteriormente realizar.

#### 4.5 Identificación de puntos críticos descartados para el análisis de falla

Para descartar ciertos puntos críticos se basó en los criterios de la norma ASME B31G, que nos indica que, si el % de profundidad de picadura es menor al 10% del espesor nominal se realizará una acción de limpieza externa y luego se deberá continuar en servicio.

Mediante esta condición se estableció que del total de puntos inspeccionados, 3 de ellos son del área de extrusión y 14 puntos corresponden al área de peletizado (ver Tabla 35).

Tabla 35. Puntos críticos descartados para la identificación de fallas

Área	Punto crítico	Etapa de evaluación	Acción a tomar
Extrusión	PCE3	I ETAPA	Seguir en servicio
Extrusión	PCE4	I ETAPA	Seguir en servicio
Extrusión	PCE5	I ETAPA	Seguir el servicio
Peletizado	PCP2	I ETAPA	Seguir en servicio
Peletizado	PCP3	I ETAPA	Seguir en servicio
Peletizado	PCP4	I ETAPA	Seguir en servicio
Peletizado	PCP5	I ETAPA	Seguir en servicio
Peletizado	PCP7	I ETAPA	Seguir en servicio
Peletizado	PCP9	I ETAPA	Seguir en servicio
Peletizado	PCP11	I ETAPA	Seguir en servicio
Peletizado	PCP12	I ETAPA	Seguir en servicio
Peletizado	PCP13	I ETAPA	Seguir en servicio
Peletizado	PCP15	I ETAPA	Seguir en servicio
Peletizado	PCP16	I ETAPA	Seguir en servicio
Peletizado	PCP17	I ETAPA	Seguir en servicio
Peletizado	PCP23	I ETAPA	Seguir en servicio
Peletizado	PCP24	I ETAPA	Seguir en servicio

Fuente: Autores

Se descartaron algunos puntos inspeccionados que están en la etapa I, ya que, los valores medidos no exceden en relación al espesor nominal de la tubería. Un parámetro que se obtuvo al momento de medir es que la tubería tiene pocos años de servicio en la empresa.

Finalmente la acción a tomar bajo las especificaciones de la norma es proceder a seguir en servicio del punto inspeccionado.

#### **4.6 Identificación de puntos críticos para la determinación de fallas funcionales**

La determinación de puntos críticos para el análisis de fallas funcionales se la procedió a realizar en base a la norma ASME B31G, que nos indica que si el % de profundidad de picadura está entre el 10% y 80% se realizará la evaluación de la máxima presión de operación admisible y su respectiva acción correctiva (ver Tabla 36).

Tabla 36. Identificación de puntos críticos para determinación de fallas funcionales

Área	Punto crítico	Etapa de evaluación	Acción a tomar
Extrusión	PCE1	II ETAPA	Controlar la corrosión y poner en servicio
Extrusión	PCE2	II ETAPA	Controlar la corrosión y poner en servicio
Extrusión	PCE6	II ETAPA	Controlar la corrosión y poner en servicio
Extrusión	PCE7	II ETAPA	Controlar la corrosión y poner en servicio
Extrusión	PCE8	II ETAPA	Controlar la corrosión y poner en servicio
Peletizado	PCP1	II ETAPA	Controlar la corrosión y poner en servicio
Peletizado	PCP6	II ETAPA	Controlar la corrosión y poner en servicio
Peletizado	PCP8	II ETAPA	Controlar la corrosión y poner en servicio
Peletizado	PCP10	II ETAPA	Controlar la corrosión y poner en servicio
Peletizado	PCP14	II ETAPA	Controlar la corrosión y poner en servicio
Peletizado	PCP18	II ETAPA	Controlar la corrosión y poner en servicio
Peletizado	PCP19	II ETAPA	Controlar la corrosión y poner en servicio
Peletizado	PCP20	II ETAPA	Controlar la corrosión y poner en servicio
Peletizado	PCP21	II ETAPA	Controlar la corrosión y poner en servicio
Peletizado	PCP22	II ETAPA	Controlar la corrosión y poner en servicio

Fuente: Autores

En estos puntos críticos se realizará el análisis de fallas funcionales con la finalidad de controlar la corrosión que se presenta en dichos puntos y posteriormente regresarlos al servicio que se encuentran realizando bajo las especificaciones de la norma mencionada.

#### **4.7 Análisis funcional en base a las inspecciones realizadas**

En primera instancia se elaboró los informes de los puntos críticos, la tabulación de datos y obtenida la información se procedió a realizar la evaluación de los puntos en cada área para finalmente proceder a realizar un análisis de las fallas funcionales de la tubería de vapor de dichos puntos para la identificación de las fallas potenciales y prevenir las consecuencias en caso de producirse.

#### **4.8 Funciones de los puntos críticos inspeccionados**

Se procede a realizar el análisis de fallas funcionales de los puntos críticos inspeccionados y determinados en la evaluación realizada anteriormente. En primera instancia se procedió a identificar la función de los puntos de la etapa II (ver Tabla 37).

Tabla 37. Funciones de los puntos críticos inspeccionados

<b>Denominación</b>	<b>Función</b>	<b>Tipo de función</b>
PCE1	Cambiar la dirección del fluido de vapor antes del cuadro de control de extrusión hasta la Pd de 1666 PSI.	Función secundaria de contención.
PCE2	Transportar el fluido de vapor sobre la presión de trabajo a 120 Psig.	Función secundaria de soporte.
PCE6	Transportar el fluido de vapor al dispositivo de control del manífull de extrusión hasta la Pd de 1666 PSI.	Función secundaria de contención.
PCE7 PCE8	Transportar el fluido de vapor en el ingreso a extrusión hasta la Pd de 1666 PSI.	Función secundaria de contención.
PCP1	Cambiar la dirección de vapor al ingreso de peletizado hasta la Pd de 1666 PSI.	Función secundaria de contención.
PCP6- PCP18	Transportar el fluido de vapor al dispositivo de control de peletizado hasta la Pd de 1666 PSI.	Función secundaria de contención.
PCP8	Cambiar la dirección de fluido de vapor al ingreso del alimentador de la peletizadora # 2 hasta la Pd de 1666 PSI.	Función secundaria de contención.
PCP10	Cambiar el fluido de vapor sobre la presión de trabajo a 120 Psig.	Función secundaria de soporte.
PCP14	Cambiar la dirección del fluido de vapor al ingreso de la peletizadora # 2 hasta la Pd de 1666 PSI.	Función secundaria de contención.
PCP19	Transportar el fluido de vapor en el ingreso a la peletizadora #1 hasta la Pd de 1666 PSI.	Función secundaria de contención.
PCP20	Cambiar la dirección del fluido de vapor al ingreso de la peletizadora # 3 hasta la Pd de 1666 PSI.	Función secundaria de contención.
PCP21	Transportar el fluido de vapor en el ingreso a la peletizadora # 3 hasta la Pd de 1666 PSI.	Función secundaria de contención.
PCP22	Cambiar la dirección del fluido de vapor al ingreso de la peletizadora # 3 hasta la Pd de 1666 PSI.	Función secundaria de contención.

Fuente: Autores

La tubería de vapor tiene una función secundaria debido a que realiza la función de transportar el fluido de vapor, mediante el cual deberá contener al fluido dentro de los materiales que la constituyen y asegurar el transporte del fluido de vapor desde su ingreso hasta el final de su propósito, sin complicaciones antes de culminar su función.

#### 4.9 Fallas funcionales de los puntos críticos inspeccionados

En segunda instancia se procedió a identificar el tipo de función y la falla funcional de cada punto crítico inspeccionado y determinado en la etapa II (ver Tabla 38).

Tabla 38. Fallas funcionales de los puntos críticos inspeccionado

Punto	Función	Tipo	Falla funcional
PCE1	Cambiar la dirección del fluido de vapor antes del cuadro de control de extrusión hasta la Pd de 1666 PSI.	Función secundaria de contención.	No cambiar la dirección del fluido antes del cuadro de control a extrusión y fracturarse a menos de la Pd de 1666 PSI.
PCE2	Transportar el fluido de vapor sobre la presión de trabajo a 120 Psig.	Función secundaria de soporte.	No transportar el fluido de vapor sobre la presión de trabajo a 120 Psig.
PCE6	Transportar el fluido de vapor al dispositivo de control del manífull de extrusión hasta la Pd de 1666 PSI.	Función secundaria de contención.	No transportar el fluido de vapor al dispositivo de control del manífull de extrusión hasta la Pd de 1666 PSI.
PCE7 PCE8	Transportar el fluido de vapor en el ingreso a extrusión hasta la Pd de 1666 PSI.	Función secundaria de contención.	No transportar el fluido de vapor en el ingreso a extrusión hasta la Pd de 1666 PSI.
PCP1	Cambiar la dirección de vapor al ingreso de peletizado hasta la Pd de 1666 PSI.	Función secundaria de contención.	No cambiar la dirección de vapor al ingreso de peletizado hasta la Pd de 1666 PSI.
PCP6 PCP18	Transportar el fluido de vapor al dispositivo de control de peletizado hasta la Pd de 1666 PSI.	Función secundaria de contención.	No transportar el fluido de vapor al dispositivo de control de peletizado hasta la Pd de 1666 PSI.
PCP8	Cambiar la dirección de fluido de vapor al ingreso del alimentador de la peletizadora # 2 hasta la Pd de 1666 PSI.	Función secundaria de contención.	No cambiar la dirección de fluido de vapor al ingreso del alimentador de la peletizadora # 2 hasta la Pd de 1666 PSI.

Tabla 38. (Continuación)

PCP10	Cambiar la dirección del fluido de vapor sobre la presión de trabajo a 120 Psig.	Función secundaria de contención.	No cambiar la dirección del fluido de vapor sobre la presión de trabajo a 120 Psig.
PCP14	Cambiar la dirección del fluido de vapor al ingreso de la peletizadora # 2 hasta la Pd de 1666 PSI.	Función secundaria de contención.	No cambiar la dirección del fluido de vapor al ingreso de la peletizadora # 2 hasta la Pd de 1666 PSI.
PCP19	Transportar el fluido de vapor en el ingreso a la peletizadora #1 hasta la Pd de 1666 PSI.	Función secundaria de contención.	No transportar el fluido de vapor en el ingreso a la peletizadora #1 hasta la Pd de 1666 PSI.
PCP20	Cambiar la dirección del fluido de vapor al ingreso de la peletizadora # 3 hasta la Pd de 1666 PSI.	Función secundaria de contención.	No cambiar la dirección del fluido de vapor al ingreso de la peletizadora # 3 hasta la Pd de 1666 PSI.
PCP21	Transportar el fluido de vapor en el ingreso a la peletizadora # 3 hasta la Pd de 1666 PSI.	Función secundaria de contención.	No transportar el fluido de vapor en el ingreso a la peletizadora # 3 hasta la Pd de 1666 PSI.
PCP22	Cambiar la dirección del fluido de vapor al ingreso de la peletizadora # 3 hasta la Pd de 1666 PSI.	Función secundaria de contención.	No cambiar la dirección del fluido de vapor al ingreso de la peletizadora # 3 hasta la Pd de 1666 PSI.

Fuente: Autores

La falla funcional de los puntos críticos se produce por el no cumplimiento de la función para la cual fue diseñada, produciendo así un problema en el normal funcionamiento de las líneas de distribución de vapor. La falla funcional tiende a ocurrir de una forma evidente para su detección.

#### 4.10 Modos de las fallas potenciales encontradas

En tercera instancia se procederá a identificar los modos de fallas de cada punto crítico inspeccionado y determinado en la etapa II (ver Tabla 39).

Tabla 39. Modos de las fallas potenciales de los puntos críticos

Punto	Falla Funcional	Modos de las falla potencial
PCE1	No cambiar la dirección del fluido antes del cuadro de control a extrusión y fracturarse a menos de la Pd de 1666 PSI.	Golpe de ariete que produce la fractura del codo.
PCE2	No transportar el fluido de vapor sobre la presión de trabajo a 120 Psig.	Reacción del oxígeno y la humedad del ambiente bajo incrementa el desprendimiento del material hasta fracturarlo.
PCE6	No transportar el fluido de vapor al dispositivo de control del manífull de extrusión hasta la Pd de 1666 PSI.	El condensado del vapor lleva partículas sólidas que incrementa el desprendimiento del material hasta fracturarlo.
PCE7- PCE8	No transportar el fluido de vapor en el ingreso a extrusión hasta la Pd de 1666 PSI.	El condensado del vapor lleva partículas sólidas que incrementa el desprendimiento del material hasta fracturarlo.
PCP1	No cambiar la dirección de vapor al ingreso de peletizado hasta 1666 PSI.	Golpe de ariete que produce la fractura del codo.
PCP6 PCP18	No trasportar el fluido de vapor al dispositivo de control de peletizado hasta la Pd de 1666 PSI.	El condensado del vapor lleva partículas sólidas que incrementa el desprendimiento del material hasta fracturarlo.
PCP8	No cambiar la dirección de fluido de vapor al ingreso del alimentador de la peletizadora # 2 hasta la Pd de 1666 PSI.	Golpe de ariete que produce la fractura del codo.
PCP10	No cambiar la dirección del fluido de vapor sobre la presión de trabajo a 120 Psig.	Reacción del oxígeno incrementa el desprendimiento del material hasta fracturarlo.
PCP19	No trasportar el fluido de vapor en el ingreso a la peletizadora #1 hasta la Pd de 1666 PSI.	El condensado del vapor lleva partículas sólidas que incrementa el desprendimiento del material hasta fracturarlo.

Tabla 39. (Continuación)

PCP20	No cambiar la dirección del fluido de vapor al ingreso de la peletizadora # 3 hasta la Pd de 1666 PSI.	Golpe de ariete que produce la fractura del codo.
PCP21	No trasportar el fluido de vapor en el ingreso a la peletizadora # 3 hasta la Pd de 1666 PSI.	El condensado del vapor lleva partículas sólidas que incrementa el desprendimiento del material hasta fracturarlo.
PCP22	No cambiar la dirección del fluido de vapor al ingreso de la peletizadora # 3 hasta la Pd de 1666 PSI.	Golpe de ariete que produce la fractura del codo.

Fuente: Autores

La mayoría de modos de falla se producen debido al arrastre de partículas suspendidas presentes en el líquido del condensado de vapor, estas partículas son abrasivas producto de la degradación del interior de la tubería, generando un fluido altamente corrosivo y un flujo turbulento producto del desalineamiento de las tuberías secundarias de distribución produciendo así el desgaste de la capa protectora del interior de la tubería. Otro factor es la generación de hidrógeno producto del valor del agua con un pH básico igual a 11.9, generando burbujas de hidrógeno que al incrementar la temperatura de la línea de vapor se produce el desprendimiento de las burbujas con una cierta cantidad de material degradado. Se analizó que después de un tiempo determinado se puede fracturar o fisurar el material según el valor de espesor que se encuentra en la medición. Un modo de falla presente se debe a la degradación que se produce por la reducción de la sección de la tubería donde se aumenta la presión del fluido, generando turbulencia del fluido que al chocar contra la pared interior de la tubería genera un gran presión de colapso, reduciendo así la capa protectora de la pared la tubería y produciendo la degradación del material en los puntos de colapso, también se genera por los cambios bruscos de la dirección del fluido en los codos, choques térmicos que se produce al instante del paso de vapor con la tubería fría.

De igual forma después de un tiempo determinado el material se encontrará en un gran estado de deterioro que puede llegar a fracturarse o fisurarse según el valor de espesor en su medición.

Finalmente el modo de fallo encontrado es producto de la acción del oxígeno presente en el interior de las tuberías de alivio de sobre presión cuya dirección de salida está hacia el medio ambiente. Otro factor de este modo de fallo es la humedad relativa del medio, debido a la ubicación geográfica de la planta y a los cambios climáticos que sufre la zona centro del país. También se debe al incremento de la temperatura en la tubería de distribución de vapor cuando se activan las válvulas de alivio.

#### 4.11 Efectos que causan las fallas funcionales encontradas

En cuarta instancia se procederá a identificar los efectos de los modos de falla de cada punto crítico inspeccionado y determinado en la etapa II (ver Tabla 40).

Tabla 40. Efectos de las fallas funcionales de los puntos críticos

Punto	Falla funcional	Modo de falla funcional	Efectos del modo de falla funcional
PCE1	No cambiar la dirección del fluido antes del cuadro de control y fracturarse a menos de 1666 PSI.	Golpe de ariete que produce la fractura del codo.	Cambio de dirección del fluido de vapor. Presión a elevada velocidad y vibración.
PCE2	No transportar el fluido de vapor sobre la presión de trabajo a 120 Psig.	Reacción del oxígeno y la humedad del ambiente alto incrementa el desprendimiento del material hasta fracturarlo.	Entrada de humedad del ambiente al interior de la tubería de la válvula de alivio. Pérdida de material visiblemente.
PCE6	No transportar el fluido de vapor al dispositivo de control del manifold de extrusión hasta la Pd de 1666 PSI.	El condensado del vapor lleva partículas sólidas que incrementa el desprendimiento del material hasta fracturarlo.	Presencia de partículas sólidas producto de la pérdida del material que se corroe y es arrastrado por el flujo del condensado.
PCE7 PCE8	No transportar el fluido de vapor en el ingreso a extrusión hasta la Pd de 1666 PSI.	El condensado del vapor lleva partículas sólidas que incrementa el desprendimiento del material hasta fracturarlo.	Presencia de partículas sólidas producto de la pérdida del material que se corroe y es arrastrado por el flujo del condensado.
PCP1	No cambiar la dirección de vapor al ingreso de peletizado hasta la Pd.	Golpe de ariete que produce la fractura del codo.	Cambio de dirección del fluido de vapor, presión a alta velocidad y vibración.

Tabla 40. (Continuación)

PCP6 PCP18	No transportar el fluido de vapor al dispositivo de control de peletizado hasta la Pd de 1666 PSI.	El condensado del vapor lleva partículas sólidas que incrementa el desprendimiento del material hasta fracturarlo.	Presencia de partículas sólidas producto de la pérdida del material que se corroe y es arrastrado por el fluido.
PCP8	No cambiar la dirección de fluido de vapor al ingreso del alimentador de la peletizadora # 2 hasta la Pd de 1666 PSI	Golpe de ariete que produce la fractura del codo.	Cambio de dirección del fluido de vapor, apertura y cierre de válvulas de distribución de vapor y pequeña vibración.
PCP10	No cambiar la dirección del fluido de vapor sobre la presión de trabajo a 120 Psig.	Reacción del oxígeno incrementa el desprendimiento del material hasta fracturarlo.	Entrada de humedad del ambiente al interior de la tubería. Pérdida de material visiblemente.
PCP14	No cambiar la dirección del fluido de vapor al ingreso de la peletizadora # 2 hasta la Pd de 1666 PSI.	Golpe de ariete que produce la fractura del codo.	Cambio de dirección del fluido de vapor y pequeña vibración.
PCP19	No transportar el fluido de vapor en el ingreso a la peletizadora #1 hasta la Pd de 1666 PSI.	El condensado del vapor lleva partículas sólidas que incrementa el desprendimiento del material hasta fracturarlo.	Presencia de partículas sólidas producto de la pérdida del mismo material que se corroe y es arrastrado por el flujo del condensado.
PCP20	No cambiar la dirección del fluido de vapor al ingreso de la peletizadora # 3 hasta la Pd de 1666 PSI.	Golpe de ariete que produce la fractura del codo.	Cambio de dirección del fluido de vapor.
PCP21	No trasportar el fluido de vapor en el ingreso a la peletizadora # 3 hasta la Pd de 1666 PSI.	El condensado del vapor lleva partículas sólidas que incrementa el desprendimiento del material hasta fracturarlo.	Presencia de partículas sólidas producto de la pérdida del mismo material que se corroe y es arrastrado por el flujo del condensado.
PCP22	No cambiar la dirección del fluido de vapor al ingreso de la peletizadora # 3 hasta la Pd de 1666 PSI.	Golpe de ariete que produce la fractura del codo.	Cambio de dirección del fluido de vapor y pequeña vibración.

Fuente: Autores

Los efectos de los modos de fallo de cada falla potencial de los puntos se determinaron de acuerdo a los síntomas que se presentan en dichos puntos; teniendo en cuenta la ubicación del punto, si hay presencia de vibración, realizando un revisión de la descarga de condensado en el tanque de almacenamiento para determinar si hay presencia de partículas suspendidas producto de la degradación del material, la humedad relativa del medio, el cambio brusco de la dirección del fluido de vapor y válvulas de control cerca de los puntos de medición que generan golpe de ariete.

#### 4.12 Consecuencias de las fallas funcionales de los puntos críticos

En quinta instancia se procederá a identificar las consecuencias de los modos de falla de cada punto crítico inspeccionado y determinado en la etapa II (ver Tabla 41).

Tabla 41. Consecuencias de las fallas funcionales de los puntos críticos

Punto	Falla funcional	Modo de falla funcional	Efectos del modo de la falla funcional	Consecuencia de la falla funcional
PCE1	No cambiar la dirección del fluido antes del cuadro de control a extrusión y fracturarse a menos de 1666 PSI.	Golpe de ariete que produce la fractura del codo.	Cambio de la dirección del fluido de vapor. Presión a elevada velocidad y pequeña vibración.	Consecuencia sobre la seguridad humana y el ambiente.
PCE2	No trasportar el fluido de vapor sobre la presión de trabajo a 120 Psig.	Reacción del oxígeno y la humedad del ambiente alto incrementa el desprendimiento del material hasta fracturarlo.	Entrada de humedad del ambiente al interior de la tubería de la válvula de alivio. Pérdida de material visiblemente.	Consecuencia sobre la seguridad humana y el ambiente.
PCE6 PCE7 PCE8	No trasportar el fluido de vapor al dispositivo de control del maníful de extrusión e ingreso a extrusión hasta la Pd de 1666 PSI.	El condensado del vapor lleva partículas sólidas que incrementa el desprendimiento del material hasta fracturarlo.	Presencia de partículas sólidas producto de la pérdida del mismo material que se corroe y es arrastrado por el flujo del condensado.	Consecuencia operacional.
PCP1	No cambiar la dirección de vapor al ingreso de peletizado hasta 1666 PSI.	Golpe de ariete que produce la fractura del codo.	Cambio de la dirección del fluido de vapor. Presión a elevada velocidad y vibración.	Consecuencia sobre la seguridad humana y el ambiente.

Tabla 41. (Continuación)

PCP6 PCP18	No trasportar el fluido de vapor al dispositivo de control de peletizado hasta la Pd de 1666 PSI.	El condensado del vapor lleva partículas sólidas que incrementa el desprendimiento del material hasta fracturarlo.	Presencia de partículas sólidas producto de la pérdida del mismo material que se corroe y es arrastrado por el flujo del condensado.	Consecuencia operacional.
PCP8 PCP14	No cambiar la dirección de fluido de vapor al ingreso del alimentador de la peletizadora # 2 hasta la Pd de 1666 PSI.	Golpe de ariete que produce la fractura del codo.	Cambio de la dirección del fluido de vapor. Apertura y cierre de válvulas de distribución de vapor y pequeña vibración.	Consecuencia sobre la seguridad humana y el ambiente.
PCP10	No cambiar la dirección del fluido de vapor sobre la presión de trabajo a 120 Psig.	Reacción del oxígeno produciendo el desprendimiento del material hasta fracturarlo.	Entrada de humedad del ambiente al interior de la tubería. Pérdida de material visiblemente.	Consecuencia sobre la seguridad humana y el ambiente.
PCP19	Trasportar el fluido de vapor en el ingreso a la peletizadora #1 hasta la Pd de 1666 PSI.	El condensado del vapor lleva partículas sólidas que incrementa el desprendimiento del material.	Presencia de partículas sólidas producto de la pérdida del mismo material que se corroe y es arrastrado por el flujo.	Consecuencia operacional.
PCP20 PCP22	No cambiar la dirección del fluido de vapor al ingreso de la peletizadora # 3 hasta 1666 PSI.	Golpe de ariete que produce la fractura del codo.	Cambio de la dirección del fluido de vapor. Apertura y cierre de válvulas de distribución de vapor.	Consecuencia sobre la seguridad humana y el ambiente.
PCP21	No trasportar el fluido de vapor en el ingreso a la peletizadora # 3 hasta la Pd de 1666 PSI.	El condensado del vapor lleva partículas sólidas que incrementa el desprendimiento del material hasta fracturarlo.	Presencia de partículas sólidas producto de la pérdida del mismo material que se corroe y es arrastrado al tanque de alimentación.	Consecuencia operacional.

Fuente: Autores

Las consecuencias de los modos de falla de una falla funcional se determinaron en base a la incidencia de que dicha falla produjera daños directos a la seguridad humana de las personas que laboran alrededor de los puntos críticos inspeccionados, al medio

ambiente de su contorno y finalmente a los paros de producción producto de fugas e incumplimientos de la normativa ISO 22000:2005, que rigen para el producto final debido a que el vapor está en contacto directo con el producto final de la producción.

#### 4.13 Determinación de fallas potenciales de los puntos críticos

En última instancia se procedió a identificar el tipo de falla potencial de cada punto crítico inspeccionado y determinado en la etapa II de la evaluación realizada.

Realizado el análisis de falla funcional en los puntos críticos inspeccionados teniendo presente; que una falla potencial son condiciones físicas identificables que indican que van ocurrir por medio de una falla funcional o que está en proceso de ocurrir, los informes emitidos de los puntos críticos determinados bajos las especificaciones de la norma ASTM E-797, el análisis estadístico de las indicaciones relevantes y la evaluación realizada en base a las especificaciones técnicas de la norma ASME B31G.

Se realizó un análisis minucioso que permita determinar la falla potencial presente en cada punto crítico inspeccionado, dando en los resultados (ver Tabla 42).

Tabla 42. Determinación de las fallas potenciales de los puntos críticos

Denominación	Falla potencial presente
PCE1	Corrosión por cavitación.
PCE2	Corrosión atmosférica húmeda.
PCE6	Corrosión por erosión.
PCE7	Corrosión por erosión.
PCE8	Corrosión por erosión.
PCP1	Corrosión por cavitación.
PCP6	Corrosión por erosión.
PCP8	Corrosión por cavitación.
PCP10	Corrosión atmosférica húmeda.
PCP14	Corrosión por cavitación.
PCP18	Corrosión por erosión.
PCP19	Corrosión por erosión.
PCP20	Corrosión por cavitación.
PCP21	Corrosión por erosión.
PCP22	Corrosión por cavitación.

Fuente: Autores

Realizado el análisis para la determinación de fallas potencial se puede apreciar tres tipos relevantes de fallas potenciales que necesitan ser controladas para evitar así que se produzcan los paros imprevistos.

#### **4.14 Riesgos de las fallas potenciales**

Los riesgos de las fallas potenciales producen las consecuencias de las fallas potenciales.

Riesgo por fugas de vapor:

- Quemaduras de primer, segundo y tercer grado.
- Produce sitios inseguros como piso resbaladizos.
- Produce alteraciones a las normativas seguridad e higiene industrial.
- Paros imprevistos.
- Pérdidas económicas.

Riesgos por daños ambientales:

- Produce alteraciones a las normativas ambientales municipales vigentes.
- Daños a las normativas de calidad del producto.
- Influencia para el calentamiento global.

En el análisis se encontraron dos tipos de consecuencias que afectan al normal funcionamiento del sistema de distribución de vapor como son:

**4.14.1** *Consecuencia sobre la seguridad humana y el ambiente.* Este tipo de consecuencia contiene un riesgo directo a la integridad de los seres humanos, pudiéndose ocurrir graves daños debido a que el vapor es un medio de transporte de energía calorífica y si llegará a un contacto con el personal, podría ocasionar graves quemaduras y lesiones al ser humano.

**4.14.2** *Consecuencia operacional.* Este tipo de consecuencias afectan directamente a la producción de la empresa.

Las principales consecuencias operacionales son:

- Paro de la producción.
- Pérdida económica por retraso de entrega de productos.

- Reducción del ciclo de vida de la instalación.
- Daño a los accesorios adyacentes de la instalación producto de la falla.
- Gasto adicional de mano de obra por reparación emergente de la falla.
- Incremento del costo de producción debido al material no producido.
- Retraso de planificación diaria de producción.
- Pérdida de clientes.

#### **4.15 Prevención de las fallas potenciales encontradas**

Una vez determinado las fallas potenciales de los puntos críticos, conviene evitar las consecuencias de éstas fallas y finalmente los riesgos de cada una de las fallas potenciales identificadas para posteriormente realizar las medidas de prevención de dichas fallas potenciales.

#### **4.16 Medidas de prevención de fallas potenciales**

Las medidas de prevención de las fallas potenciales se fundamentan básicamente en las tres fallas potenciales identificadas como son; corrosión por cavitación, corrosión por erosión y corrosión atmosférica húmeda.

##### **4.16.1 *Medidas de prevención para el control de la corrosión por cavitación***

- Para evitar la corrosión por cavitación se debe realizar una mayor frecuencia de inspección de la trampa de balde invertido de vapor a fin de contrarrestar el golpe de ariete del sistema.
- Realizar la apertura y cierre de la válvula de control de forma lenta a fin de evitar el golpe de ariete.
- En lo posible evitar la reducción de la sección de la tubería en puntos de la línea de distribución secundaria de vapor.
- Revisión periódica de los apoyos y soportes de la línea de distribución de vapor y sus accesorios.
- Tener encendido el caldero para evitar el golpe de ariete en la tubería de distribución de vapor.

#### 4.16.2 *Medidas de prevención para el control de la corrosión por erosión*

- Revisión de funcionamientos de las trampas de sedimentación de vapor.
- Limpieza de los filtros de vapor.
- Realizar la revisión del tanque de almacenamiento de agua de ingreso a la caldera a fin de retirar partículas suspendidas y aceites.
- Evitar el desalineamiento de tuberías al instante de instalar tuberías secundarias de distribución para que no se produzca turbulencia en el fluido debido al cambio del eje de circulación del fluido que conlleva el arrastre de partículas abrasivas.

#### 4.16.3 *Medidas de prevención para el control de la corrosión atmosférica húmeda*

- Evitar el ingreso de oxígeno al interior de la tubería de alivio debido que éste incrementa la velocidad de corrosión.
- Evitar la caída de presión en el sistema que produce el incremento de la temperatura del sistema de distribución generando la reducción de la humedad relativa del medio que incrementa la velocidad de corrosión.
- Una medida de prevención para evitar la sobrepresiones de calderos es la reducción o eliminación de incrustaciones sobre los tubos de fuego del caldero a través del tratamiento de agua para calderos y la instalación de un ablandador de agua de alimentación, que permita eliminar la dureza del agua.
- Colocar una válvula check en la salida para evitar el ingreso de oxígeno.

#### 4.17 **Tareas de mantenimiento**

Tabla 43. Tareas de mantenimiento de los puntos críticos inspeccionados

<b>Punto crítico</b>	<b>Identificación</b>	<b>Falla potencial</b>	<b>Tareas de mantenimiento</b>	<b>Frecuencia semanal</b>
PCE1	Codo de 90° de manífull de extrusión antes de la válvula de apertura.	Corrosión por cavitación.	Revisión de anclaje y soportes de la tubería.	3
			Revisión de válvulas de control.	4
			Inspección de espesores por ultrasonido.	6
			Limpieza de la trampa de balde invertido.	5

Tabla 43. (Continuación)

PCE2	Salida de la válvula de alivio.	Corrosión atmosférica húmeda.	Limpieza exterior de la tubería.	5
			Inspección de la válvula de alivio.	4
			Revisión del manómetro y tubería de alivio.	1
PCE6	Tubería control del manífull de extrusión.	Corrosión por erosión.	Inspección de las trampas de sedimentación.	4
			Limpieza de las trampas de sedimentación.	6
			Revisión de los pernos de anclaje del manífull.	4
			Revisar la válvula de control.	4
			Revisión del tanque de almacenamiento del ingreso al caldero.	1
			Limpieza del manífull.	4
PCE7	Tubería de ingreso a extrusión.	Corrosión por erosión.	Revisión de los filtros de vapor.	4
			Limpieza de las trampas de vapor.	6
			Revisión del tanque de almacenamiento del ingreso al caldero.	1
PCE8	Tubería de ingreso a extrusión.	Corrosión por erosión.	Revisión de las trampas de sedimentación.	2
			Limpieza de las trampas de sedimentación.	5
PCP1	Codo de 90° de la línea de ingreso a peletizado.	Corrosión por cavitación.	Revisión de anclaje y soportes de la tubería.	3
			Limpieza exterior del codo.	5
			Revisar el estado del aislante térmico.	3
PCP6	Tubería del cuadro de control de vapor.	Corrosión por erosión.	Revisión de las trampas de sedimentación.	2
			Limpieza de las trampas de vapor.	5
			Revisión de manómetros.	1
			Revisión del purgador de vapor.	6
			Revisión del tanque de almacenamiento.	1
			Revisión de empaques de bridas.	4

Tabla 43. (Continuación)

PCP8	Codo de 90° de entrada del alimentador peletizadora # 2.	Corrosión por cavitación.	Revisión de anclaje y soportes de la tubería del alimentador.	3
			Revisión de la válvula de ingreso.	2
PCP10	Codo 90° de la tubería de la válvula de alivio.	Corrosión atmosférica húmeda.	Revisión del anclaje de la tubería.	4
			Inspección de la válvula de alivio.	6
			Revisión de la válvula de alivio.	3
PCP14	Codo 90° de la pelizadora # 2.	Corrosión por cavitación	Revisión del anclaje y soporte de la tubería.	3
			Limpieza exterior de la tubería.	4
PCP18	Tubería del cuadro de control de la peletizadora #3.	Corrosión por erosión	Inspección de las trampas de condensado.	4
			Limpieza de filtros de vapor.	6
			Revisión de manómetros.	3
			Limpieza del tanque de almacenamiento del ingreso al caldero.	4
			Revisión de uniones de accesorios de control.	2
PCP19	Tubería de ingreso al peletizadora #1.	Corrosión por erosión.	Revisión de los filtros de vapor.	5
			Inspeccionar el purgador de vapor.	6
PCP20	Codo 90 ° de ingreso a la peletizadora #3 tramo 1.	Corrosión por cavitación.	Inspección de anclaje y soporte de la tubería.	3
			Revisión de uniones soldadas.	2
PCP21	Tubería recta de ingreso a la peletizadora #3 tramo 2.	Corrosión por erosión	Limpieza del tanque de almacenamiento de ingreso al caldero.	6
			Limpieza de la tubería de distribución.	4
PCP22	Codo 90 ° de ingreso a la peletizadora #3 tramo 3.	Corrosión por cavitación.	Revisión de anclaje y soporte de la tubería para evitar la vibración.	3
			Cambio de empaques de bridas.	32

Fuente: Autores

#### **4.18 Propuesta a la empresa Bioalimentar**

Con los resultados obtenidos mediante la inspección de espesores por ultrasonido en la tubería de distribución de vapor se propone a la empresa Bioalimentar, realizar acciones de control de la corrosión en los puntos críticos determinados por la evaluación realizada bajo la norma ASME B31G, a través de tareas preventivas a fin de evitar las consecuencias que afectan directamente a la seguridad humana, al medio ambiente y el aspecto operacional del sistema que producirá paros imprevistos indeseados.

Para la prevención de la falla potencial producto de la corrosión por erosión se debe realizar; la inspección de los filtros de vapor y de las trampas de sedimentación con el propósito de evacuar partículas abrasivas del material degradado, para ésta acción preventiva se recomienda la instalación de un tanque de sedimentación de agua para evacuar las partículas sólidas no retenidas por las trampas de sedimentación y el desalineamiento de la tubería secundaria de distribución de vapor.

En la falla potencial producto de la corrosión por cavitación; realizar inspecciones de las trampas de balde invertido de vapor, cierre y apertura de las válvulas de control de forma paulatina, revisión de la vibración del anclaje y apoyo de la tubería de distribución de vapor.

En la falla potencial producto de la corrosión atmosférica húmeda; evitar en lo posible el ingreso de oxígeno al interior de la tubería de alivio por medio de válvulas check en el sentido de salida del vapor y reducir al máximo el incremento de la temperatura en la diferencia de presión generando en las válvulas de alivio de vapor que disminuye la humedad relativa del medio incrementando la velocidad de corrosión.

Capacitación de los técnicos de mantenimiento en el control y manipulación en línea de vapor a fin de tener la capacidad para solucionar los problemas cuando se produzcan. Mejorar la programación del mantenimiento preventivo en la línea de vapor de la empresa para obtener una programación adecuada y el número de tareas semanales de mantenimiento en forma equilibrada.

Con nuestro estudio se pretende encaminar al director de mantenimiento de la empresa, con la idea de que el mantenimiento predictivo con inspección de ultrasonido no es un gasto sino una buena inversión.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

Se realizó el análisis de los puntos críticos del sistema de distribución de vapor de la empresa para identificar los puntos más relevantes para la inspección.

Se realizó la inspección de los puntos críticos identificados, mediante el empleo del equipo de medición de espesores por ultrasonido 45MG se pudo obtener y visualizar el desgaste que actualmente se está produciendo internamente en las líneas de distribución de vapor y se elaboró un informe técnico basado en la norma internacional ASTM E-797 que permite garantizar el proceso realizado durante la inspección.

Se evaluó las inspecciones realizadas bajo las especificaciones de la norma internacional ASME B31G, que determina la primera etapa de evaluación no se realiza ninguna acción debido a las tolerancias admisibles y la segunda etapa de evaluación se debe realizar acciones de control de corrosión y genera la información para la identificación de los puntos críticos para realizar la determinación de fallas potenciales.

Se determinó que las líneas de distribución de vapor que trabajan a altas presiones, tiene las garantías necesarias para laborar con normalidad, en el peor de los casos tan solo un 46.8% de puntos inspeccionados llegan a dicho porcentaje y terminan en la segunda etapa de evaluación de la norma ASME B31G, lo cual demuestra que existen alta seguridad de operación en las tuberías de la empresa.

Se identificó el estado actual y la condición bajo la cual operan las líneas de distribución de vapor, para poder determinar las fallas potenciales que están presentes en los puntos críticos inspeccionados como son; la corrosión por erosión producto del arrastre de partículas abrasivas debido a la degradación de la pared interna de la tubería, corrosión por cavitación producto del golpe de ariete del sistema en el cambio de la

dirección del fluido en la tubería y corrosión atmosférica húmeda por la reacción del oxígeno al interior de tuberías de alivio de presión, la disminución de humedad relativa del ambiente producto del incremento de la temperatura en la diferencia de presión en las válvulas de alivio.

Se realizó el mantenimiento predictivo para el control de las fallas potenciales de los puntos críticos determinados en la evaluación, realizando las medidas preventivas a fin de controlar la propagación de la falla potencial presente en dichos puntos identificados con el objeto de reducir al máximo la incidencia de riesgos por consecuencias de la ocurrencia de la falla potencial.

Se realizaron acciones preventivas y correctivas de mantenimiento para brindar seguridad de operación y para eliminar los paros imprevistos en la línea de vapor.

## **5.2 Recomendaciones**

Limpiar bien los elementos a ser inspeccionados por el equipo de medición, puesto que pequeñas incrustaciones presentes en la superficie a ser inspeccionada, puede alterar las medidas realizadas y llevar a confusiones en el momento de entrega de los informes.

Presionar el palpador sobre el elemento de manera uniforme, para evitar medidas distorsionadas. La medición se deberá ser realizada por la persona quien realizó las calibraciones respectivas en el equipo de medición.

Cubrir el tanque de retorno de condensado con un tapa a fin de evitar que las impurezas presentes en el ambiente ingresen en el proceso e intervengan directamente en el proceso de arrastre corrosivo tanto de los elementos internos de las calderas y la líneas de distribución de vapor.

Instalar un tanque de sedimentación con el propósito de evacuar las partículas sólidas del agua, a fin de evitar la erosión y corrosión en los tubos de fuego de los calderos mejorando la transferencia de calor en el interior de la caldera y complicaciones en la línea de distribución de vapor.

## BIBLIOGRAFÍA

**ALMENDARIZ, Marco. 2010.** *Ensayos No Destructivos*. Riobamba : Docucentro, 2010.

**ASME. 1991.** Law.resource.org. [En línea] 27 de Julio de 1991. [Citado el: 29 de 06 de 2013.] <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/asme.b31g.1991.pdf>.

**ASTM. 1995.** ASTM E-797. Standar Practice for Measuring Thichness by Manual Ultrasonic Pulse- Echo Contact Method. [aut. libro] American National Standar. *Annual Books Of ASTM Standars*. 1995, Vol. 03.03.

**BOLAINA, Elena. 2013.** Slideshare.net. [En línea] 09 de 01 de 2013. [Citado el: 06 de 07 de 2013.] <http://www.slideshare.net/nena101779/corrosin-27176314>.

**BUNGE, Jorge y MAGALLANES, Diego. 2011.** ask.com. [En línea] 28 de 06 de 2011. [Citado el: 28 de 05 de 2013.] <http://materias.fi.uba.ar/6716/Presentacion%20NDT.pdf>.

**CABRERA, Raúl. 2008.** *Corrosión*. Riobamba : Docucentro, 2008.

**CARO, Julio. 2008.** Scribd.com. [En línea] 08 de 04 de 2008. [Citado el: 23 de 05 de 2013.] <http://es.scribd.com/doc/2469715/Pruebas-no-destructivas>.

**CASTELLANOS, Oscar. 2012.** Slideshare.net. [En línea] 03 de 08 de 2012. [Citado el: 02 de 06 de 2013.] <http://www.slideshare.net/omarmo/ultrasonido-13865879>.

**CEVALLOS, Edgar. 2000.** *Ensayos no Destructivos*. Riobamba : Docucentro, 2000.

**CUAUTITLÁN, Izcalli. 2010.** ask.com. [En línea] 13 de 10 de 2010. [Citado el: 23 de 06 de 2013.] [http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina\\_ingenieria/mecanica/mat/mat\\_mec/m6/PRUEBA%20DE%20ULTRASONIDO.pdf](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m6/PRUEBA%20DE%20ULTRASONIDO.pdf).

**DMTA. 2012.** *45MG Medidor de espesores por ultrasonido*. 2012.

**ESPEJO, Edgar y MARTÍNEZ, Juan. 2011.** ask.com. [En línea] 03 de Septiembre de 2011. [Citado el: 09 de Julio de 2013.] [http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2023293/und\\_3/pdf/tubos\\_calderas.pdf](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2023293/und_3/pdf/tubos_calderas.pdf).

- GALLEGOS, Cristian. 2011.** Slideshare.net. [En línea] 26 de 09 de 2011. [Citado el: 22 de 06 de 2013.] <http://www.slideshare.net/cristianstiveng1/el-ultrasonido-13476487>.
- GUTIÉRREZ, Jaime. 2012.** Scribd.com. [En línea] 24 de 06 de 2012. [Citado el: 01 de 07 de 2013.] <http://es.scribd.com/doc/98089025/28/Fallas-potenciales-y-mantenimiento-a-condicion>.
- HERNÁNDEZ, Eduardo. 2010.** *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad II*. Riobamba : Docucentro, 2010.
- NETTO, Ricardo. 2007.** Fisicanet.com. [En línea] 26 de 11 de 2007. [Citado el: 30 de 06 de 2013.] [http://www.fisicanet.com.ar/quimica/corrosion/ap03\\_corrosion.php](http://www.fisicanet.com.ar/quimica/corrosion/ap03_corrosion.php).
- PEÑA, Luis. 2013.** TLV.com. [En línea] 10 de Marzo de 2013. [Citado el: 28 de Agosto de 2013.] <http://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/piping-erosion.html>.
- PERERA, Gerónimo. 2010.** Scribd.com. [En línea] 01 de 04 de 2010. [Citado el: 12 de 06 de 2013.] <http://es.scribd.com/doc/29285450/Manual-de-Procedimiento-de-Ensayos-No-Destructivos-Par-El-Metodo-de-Ultrasonido>.
- S.A.C. 2013.** Scribd.com. [En línea] 13 de 09 de 2013. <http://es.scribd.com/doc/105822227/40/PRINCIPIOS-DE-ULTRASONIDO>.
- SENATI. 2009.** Scribd.com. [En línea] 25 de 06 de 2009. [Citado el: 13 de 05 de 2013.] [http://virtual.senati.edu.pe/pub/cursos/mcpp/MODULO\\_3/MANUAL\\_U3\\_PLATAFORMA.pdf](http://virtual.senati.edu.pe/pub/cursos/mcpp/MODULO_3/MANUAL_U3_PLATAFORMA.pdf).
- TIGLLA, Edison. 2011.** scribd. [En línea] 30 de 05 de 2011. [Citado el: 20 de 04 de 2013.] <http://es.scribd.com/doc/56611359/Tipos-de-Mantenimiento-Industrial>.
- VELASCO, Luis. 2013.** scribd.com. [En línea] 2013. [Citado el: 21 de Junio de 2013.] <http://es.scribd.com/doc/49974227/CATALOGO-DIPAC>.