



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

“DETERMINACIÓN DEL ESTADO TÉCNICO DE LAS TUBERÍAS DE  
LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL  
GAD PARROQUIAL RURAL DE LICÁN MEDIANTE  
ULTRASONIDO”

**JONATAN FABRICIO GUAYLLA LÓPEZ**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**  
**TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

**RIOBAMBA - ECUADOR**

2019

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

---

2019-03-15

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**JONATAN FABRICIO GUAYLLA LÓPEZ**

---

Titulado:

**“DETERMINACIÓN DEL ESTADO TÉCNICO DE LAS TUBERÍAS DE LOS  
TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL GAD PARROQUIAL  
RURAL DE LICÁN MEDIANTE ULTRASONIDO”**

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

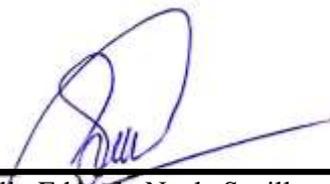
**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**



---

Ing. Carlos José Santillán Mariño  
**DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:



---

Ing. Stalin Eduardo Nuela Sevilla  
**DIRECTOR**



---

Ing. Edison Fernando Calderón Freire  
**ASESOR**

**EXAMINACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** JONATAN FABRICIO GUAYLLA LÓPEZ

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** “DETERMINACIÓN DEL ESTADO TÉCNICO DE LAS TUBERÍAS DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL GAD PARROQUIAL RURAL DE LICÁN MEDIANTE ULTRASONIDO”

**Fecha de Examinación:** 2019-06-21

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Dr. Marco Antonio Haro Medina <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Stalin Eduardo Nuela Sevilla <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Edison Fernando Calderón Freire <b>ASESOR</b>			

\* 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.



\_\_\_\_\_  
Dr. Marco Antonio Haro Medina  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El presente trabajo de titulación que presento 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 teóricos científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



---

Jonatan Fabricio Guaylla López

## DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Jonatan Fabricio Guaylla López, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como Jonatan G., asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.



---

Jonatan Fabricio Guaylla López

Cédula de identidad: 060440415-2

## **DEDICATORIA**

Dedico en primer lugar a mi querida abuela Leonor López Auquilla por ser mi inspiración para no rendirme ante las adversidades y de esta manera mantenerme firme en mi objetivo de lograr este sueño, también dedico de manera especial a mi padre Anibal Guaylla, a mi madre Ana López, a cada uno de mis hermanos Mauro, Jessenia, Mónica, Tania, y David, quienes me han brindado su apoyo incondicional a lo largo de estos años y finalmente pero no menos importante a la mujer más bella de este mundo Thalia Ortega por ser mi todo reflejado en otra persona, a quien amo demasiado y por la cual estoy dispuesto a enfrentarlo todo .

**Jonatan Fabricio Guaylla López**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi Padre celestial quien me permite cumplir con esta meta trazada desde hace años, también de la manera más sincera a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en particular a la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento, por haberme permitido ser parte de aquellos estudiantes que ingresaron con el sueño de estudiar aquí. De esta manera puedo decir que me han formado como un profesional competente y apto para la sociedad.

Y en especial a mi familia, amigos y compañeros quienes me apoyaron de una u otra manera para poder culminar con éxito esta etapa de mi vida.

**Jonatan Fabricio Guaylla López**

# CONTENIDO

Pág.

## RESUMEN

## ABSTRACT

## INTRODUCCIÓN

## CAPÍTULO I

1.1	Problematización.....	1
1.2	Justificación y actualidad .....	1
1.3	Antecedentes .....	2
1.4	Hipótesis de investigación.....	3
1.5	Objetivos .....	3
1.5.1	<i>Objetivo general</i> .....	3
1.5.2	<i>Objetivos específicos</i> .....	3
1.6	Marco teórico .....	4
1.7	Mantenimiento según norma UNE EN 13306. ....	4
1.7.1	<i>Objetivos del mantenimiento</i> .....	4
1.7.2	<i>Estrategia de mantenimiento</i> .....	4
1.7.3	<i>Plan de mantenimiento</i> .....	4
1.7.4	<i>Vida útil</i> .....	4
1.8	Fallos y eventos.....	4
1.8.1	<i>Fallo</i> .....	4
1.8.2	<i>Fallo por desgaste</i> .....	4
1.8.3	<i>Fallo por envejecimiento</i> .....	5
1.8.4	<i>Desgaste</i> .....	5
1.9	Mantenimiento Predictivo.....	5
1.9.1	<i>Método de ultrasonido</i> .....	6
1.9.2	<i>Naturaleza de los ultrasonidos</i> .....	6
1.9.3	<i>Características de las ondas ultrasónicas</i> .....	7
1.9.4	<i>Parámetros de las ondas ultrasónicas</i> .....	7

1.9.4.1	<i>Aplicación del ultrasonido según su frecuencia.</i>	8
1.10	Importancia y beneficios de los ensayos por ultrasonido.	9
1.11	Métodos de inspección ultrasónica.	9
1.11.1	<i>Método de pulso – eco.</i>	9
1.12	Descripción del equipo de medición de ultrasonido GM130 Benetech.	10
1.12.1	<i>Partes principales del equipo GM130 Benetech.</i>	10
1.12.2	<i>Especificaciones.</i>	11
1.12.3	<i>Calibración y modo de operación del equipo.</i>	11
1.12.4	<i>Velocidad de sonido de materiales.</i>	13
1.13	Medición de espesores según la norma ASTM E797.	14
1.13.1	<i>Alcance.</i>	14
1.13.2	<i>Resumen.</i>	14
1.13.3	<i>Aplicación.</i>	15
1.14	Inspección de tuberías según norma API 570.	15
1.14.1	<i>Alcance.</i>	16
1.14.2	<i>Aplicación.</i>	16
1.14.3	<i>Tipos de inspección.</i>	16
1.14.3.1	<i>Inspección de medición de espesores.</i>	17
1.14.4	<i>Procedimiento para la inspección.</i>	17
1.14.5	<i>Monitoreo de la medición de espesores.</i>	17
1.14.6	<i>Cálculo de desgaste.</i>	18
1.14.7	<i>Cálculo de vida útil.</i>	18
1.15	Desgaste.	19
1.15.1	<i>Tipos de desgaste.</i>	19
1.15.1.1	<i>Desgaste mecánico corrosivo.</i>	19
1.16	Corrosión interna en tuberías.	21
1.16.1	<i>Proceso de corrosión en tuberías de acero galvanizado.</i>	21
1.16.2	<i>Factores de la corrosión y desgaste de tuberías en su zona interna.</i>	22
1.17	Agua Potable.	23
1.17.1	<i>Proceso de potabilización.</i>	23
1.18	Almacenamiento y conducción.	24
1.18.1	<i>Almacenamiento.</i>	24
1.18.2	<i>Ubicación de los tanques de almacenamiento.</i>	24
1.18.2.1	<i>Elementos de los tanques de almacenamiento.</i>	24
1.19	Medios de conducción.	26

1.19.1	<i>Canales</i> .....	26
1.19.2	<i>Tuberías</i> .....	26
1.19.3	<i>Tanqueros</i> .....	26
1.20	Sistema de conducción del agua potable.....	26
1.20.1	<i>Red principal</i> .....	27
1.20.2	<i>Redes secundarias</i> .....	27
1.20.3	<i>Tipos de red de distribución</i> .....	27
1.21	Tipos de tubería.....	27
1.21.1	<i>Tipos de tubería de acuerdo al material</i> .....	27
1.21.2	<i>Tipos de tubería de acuerdo al tipo de unión</i> .....	28
1.22	Tuberías de acero.....	28
1.22.1	<i>Tipos de tubería de acero</i> .....	28
1.23	Tubería de acero galvanizado.....	29
1.23.1	<i>Beneficios de la tubería de acero galvanizado</i> .....	29
1.23.2	<i>Propiedades de las tuberías de acero galvanizado</i> .....	30
1.24	Tubería de plástico o polímeros.....	30
1.24.1	<i>Tipos de tubería de pvc</i> .....	31
1.24.2	<i>Beneficios de la tubería pvc</i> .....	31
1.24.3	<i>Propiedades</i> .....	31
1.25	Características dimensionales de la tubería de conducción agua según la norma ANSI/AWWA C150/A21.50-96.....	32
1.25.1	<i>Alcance</i> .....	32
1.25.2	<i>Procedimiento para el cálculo de espesor neto requerido</i> .....	32
1.26	Espesores.....	33
1.27	Diámetros.....	33
1.28	Materiales.....	34
1.28.1	<i>Galvanización</i> .....	34
1.29	Especificaciones de tuberías según norma ASTM A-53 con cédula 40.....	35

## **CAPÍTULO II**

2.1	Diseño Metodológico.....	37
2.1.1	<i>Tipo de investigación</i> .....	37
2.1.2	<i>Diseño de la investigación</i> .....	37

2.1.3	<i>Unidades de análisis</i> .....	38
2.1.4	<i>Población</i> .....	38
2.1.5	<i>Muestra</i> .....	38
2.2	Matriz de involucrados.....	39
2.3	Árbol de problemas .....	39
2.4	Árbol de objetivos.....	41
2.5	Matriz de marco lógico .....	42
2.6	Análisis de alternativas. ....	43
2.7	Resumen narrativo .....	44

### **CAPÍTULO III**

3.1	Resultados .....	45
3.1.1	<i>Levantamiento de inventario técnico</i> .....	45
3.1.2	<i>Codificación de tanques</i> .....	46
3.1.3	<i>Ficha técnica de Tanques rectangulares.</i> ....	47
3.1.4	<i>Ficha técnica de tanques cilíndricos.</i> .....	47
3.1.5	<i>Longitud total de tubería a ser analizada.</i> .....	48
3.1.6	<i>Fichas técnicas de tuberías de entrada y salida.</i> .....	49
3.1.6.1	<i>Ficha técnica de tuberías del TKR01.</i> .....	49
3.1.6.2	<i>Ficha técnica de tuberías del TKC02.</i> .....	50
3.1.6.3	<i>Ficha técnica de tuberías del TKC03.</i> .....	50
3.1.6.4	<i>Ficha técnica de tuberías del TKC04.</i> .....	51
3.1.6.5	<i>Ficha técnica de tuberías del TKC05.</i> .....	52
3.1.6.6	<i>Ficha técnica de tuberías del TKR06.</i> .....	52
3.1.6.7	<i>Ficha técnica de tuberías del TKC07.</i> .....	53
3.1.6.8	<i>Ficha técnica de tuberías del TKC08.</i> .....	53
3.1.6.9	<i>Ficha técnica de tuberías del TKR09.</i> .....	54
3.1.7	<i>Toma de espesores de tubería mediante inspección por ultrasonido.</i> .....	54
3.1.8	<i>Toma de espesores de tuberías.</i> .....	55
3.1.9	<i>Determinación de espesor mínimo requerido por norma AWWA C150.</i> .....	55
3.1.9.1	<i>Espesores mínimos requeridos del TKR01.</i> .....	56
3.1.9.2	<i>Espesores mínimos requeridos del TKC02.</i> .....	56
3.1.9.3	<i>Espesores mínimos requeridos del TKC03.</i> .....	57
3.1.9.4	<i>Espesores mínimos requeridos del TKC04.</i> .....	58

3.1.9.5	<i>Espesores mínimos requeridos del TKC05.</i>	58
3.1.9.6	<i>Espesores mínimos requeridos del TKR06.</i>	59
3.1.9.7	<i>Espesores mínimos requeridos del TKC07.</i>	59
3.1.9.8	<i>Espesores mínimos requeridos del TKC08.</i>	60
3.1.9.9	<i>Espesores mínimos requeridos del TKR09.</i>	60
3.1.10	<i>Determinación de espesor mínimo medido.</i>	60
3.1.10.1	<i>Espesor mínimo de las tuberías del TKR01.</i>	61
3.1.10.2	<i>Espesor mínimo de las tuberías del TKC02.</i>	61
3.1.10.3	<i>Espesor mínimo de las tuberías del TKC03.</i>	62
3.1.10.4	<i>Espesor mínimo de las tuberías del TKC04.</i>	62
3.1.10.5	<i>Espesor mínimo de las tuberías del TKC05.</i>	63
3.1.10.6	<i>Espesor mínimo de las tuberías del TKR06.</i>	63
3.1.10.7	<i>Espesor mínimo de las tuberías del TKC07.</i>	64
3.1.10.8	<i>Espesor mínimo de las tuberías del TKC08.</i>	64
3.1.10.9	<i>Espesor mínimo de las tuberías del TKR09.</i>	65
3.1.11	<i>Determinación de espesor máximo.</i>	65
3.1.11.1	<i>Espesor máximo de las tuberías del TKR01.</i>	65
3.1.11.2	<i>Espesor máximo de las tuberías del TKC02.</i>	66
3.1.11.3	<i>Espesor máximo de las tuberías del TKC03.</i>	67
3.1.11.4	<i>Espesor máximo de las tuberías del TKC04.</i>	67
3.1.11.5	<i>Espesor máximo de las tuberías del TKC05.</i>	68
3.1.11.6	<i>Espesor máximo de las tuberías del TKR06.</i>	68
3.1.11.7	<i>Espesor máximo de las tuberías del TKC07.</i>	68
3.1.11.8	<i>Espesor máximo de las tuberías del TKC08.</i>	69
3.1.11.9	<i>Espesor máximo de las tuberías del TKR09.</i>	69
3.1.12	<i>Determinación de espesor medio.</i>	70
3.1.12.1	<i>Espesor medio de tuberías del TKR01.</i>	70
3.1.12.2	<i>Espesor medio de tuberías del TKC02.</i>	71
3.1.12.3	<i>Espesor medio de tuberías del TKC03.</i>	71
3.1.12.4	<i>Espesor medio de tuberías del TKC04.</i>	72
3.1.12.5	<i>Espesor medio de tuberías del TKC05.</i>	72
3.1.12.6	<i>Espesor medio de tuberías del TKR06.</i>	73
3.1.12.7	<i>Espesor medio de tuberías del TKC07.</i>	73
3.1.12.8	<i>Espesor medio de tuberías del TKC08.</i>	73
3.1.12.9	<i>Espesor medio de tuberías del TKR09.</i>	74
3.1.13	<i>Determinación de zonas con espesores mínimos.</i>	74
3.1.13.1	<i>Determinación de zonas de los puntos cardinales ABCD con mayor cantidad de espesores bajos en el TKR01.</i>	75

3.1.13.2	<i>Determinación de zonas de los puntos cardinales ABCD con mayor cantidad de espesores bajos en el TKC02.</i>	76
3.1.13.3	<i>Determinación de zonas de los puntos cardinales ABCD con mayor cantidad de espesores bajos en el TKC03.</i>	78
3.1.13.4	<i>Determinación de zonas de los puntos cardinales ABCD con mayor cantidad de espesores bajos en el TKC04.</i>	79
3.1.13.5	<i>Determinación de zonas de los puntos cardinales ABCD con mayor cantidad de espesores bajos en el TKC05.</i>	80
3.1.13.6	<i>Determinación de zonas de los puntos cardinales ABCD con mayor cantidad de espesores bajos en el TKR06.</i>	81
3.1.13.7	<i>Determinación de zonas de los puntos cardinales ABCD con mayor cantidad de espesores bajos en el TKC07.</i>	82
3.1.13.8	<i>Determinación de zonas de los puntos cardinales ABCD con mayor cantidad de espesores bajos en el TKC08.</i>	83
3.1.13.9	<i>Determinación de zonas de los puntos cardinales ABCD con mayor cantidad de espesores bajos en el TKR09.</i>	84
3.1.14	<i>Comparación de espesor mínimo obtenido con espesor mínimo requerido.</i>	85
3.1.14.1	<i>Comparación de espesor obtenido con espesor medido de 50mm.</i>	85
3.1.14.2	<i>Comparación de espesor obtenido con espesor medido de 75mm.</i>	86
3.1.14.3	<i>Comparación de espesor obtenido con espesor medido de 100mm.</i>	87
3.1.15	<i>Cálculo de la vida útil de la tubería según diseño.</i>	88
3.1.15.1	<i>Vida útil de las tuberías del TKR01.</i>	88
3.1.15.2	<i>Vida útil de las tuberías del TKC02.</i>	90
3.1.15.3	<i>Vida útil de las tuberías del TKC03.</i>	91
3.1.15.4	<i>Vida útil de las tuberías del TKC04.</i>	92
3.1.15.5	<i>Vida útil de las tuberías del TKC05.</i>	93
3.1.15.6	<i>Vida útil de las tuberías del TKR06.</i>	93
3.1.15.7	<i>Vida útil de las tuberías del TKC07.</i>	94
3.1.15.8	<i>Vida útil de las tuberías del TKC08.</i>	95
3.1.15.9	<i>Vida útil de las tuberías del TKR09.</i>	96
3.1.16	<i>Cálculo del desgaste ocurrido desde su construcción hasta la actualidad</i>	96
3.1.16.1	<i>Tasa de desgaste del TKR01.</i>	96
3.1.16.2	<i>Tasa de desgaste del TKC02.</i>	98
3.1.16.3	<i>Tasa de desgaste del TKC03.</i>	99
3.1.16.4	<i>Tasa de desgaste del TKC04.</i>	100
3.1.16.5	<i>Tasa de desgaste del TKC05.</i>	101
3.1.16.6	<i>Tasa de desgaste del TKR06.</i>	101
3.1.16.7	<i>Tasa de desgaste del TKC07.</i>	102
3.1.16.8	<i>Tasa de desgaste del TKC08.</i>	103
3.1.16.9	<i>Tasa de desgaste del TKR09.</i>	104

3.1.17	<i>Próximas inspecciones.</i> .....	104
3.1.18	<i>Próxima inspección de las tuberías de los tanques.</i> .....	105
3.1.19	<i>Interpretación de resultados.</i> .....	106
3.1.20	<i>Desgaste de las tuberías de acero galvanizado.</i> .....	106
3.1.21	<i>Vida útil de las tuberías de acero galvanizado.</i> .....	107
3.2	Conclusiones .....	109
3.3	Recomendaciones.....	110

## **BIBLIOGRAFÍA**

# LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1-1:</b> Especificaciones del equipo Benetech GM130 .....	11
<b>Tabla 2-1:</b> Velocidad de sonido de materiales .....	14
<b>Tabla 3-1:</b> Características físicas y químicas del acero galvanizado .....	30
<b>Tabla 4-1:</b> Características físicas y composición química de las tuberías de PVC.....	32
<b>Tabla 5-1:</b> Espesores de tuberías con cédula 40.....	33
<b>Tabla 6-1:</b> Diámetros de tubería con cédula 40 .....	34
<b>Tabla 7-1:</b> Composición química de tuberías de acero galvanizado .....	34
<b>Tabla 8-1:</b> Especificaciones de tuberías de acero galvanizado .....	35
<b>Tabla 9-1:</b> Peso y presión de prueba de tuberías con cédula 40.....	36
<b>Tabla 1-2:</b> Matriz de involucrados .....	36
<b>Tabla 2-2:</b> Matriz de marco lógico.....	41
<b>Tabla 2-3:</b> Resumen del resumen narrativo .....	43
<b>Tabla 1-3:</b> Tanques de almacenamiento.....	44
<b>Tabla 2-3:</b> Codificación de tanques .....	46
<b>Tabla 3-3:</b> Tanques rectangulares .....	47
<b>Tabla 4-3:</b> Tanques cilíndricos.....	48
<b>Tabla 5-3:</b> Tuberías de entrada y salida del TKR01 .....	49
<b>Tabla 6-3:</b> Tuberías de entrada y salida del TKC02 .....	50
<b>Tabla 7-3:</b> Tuberías de entrada y salida del TKC03 .....	51
<b>Tabla 8-3:</b> Tuberías de entrada y salida del TKC04 .....	51
<b>Tabla 9-3:</b> Tuberías de entrada y salida del TKC05 .....	52
<b>Tabla 10-3:</b> Tuberías de entrada y salida del TKR06 .....	52
<b>Tabla 11-3:</b> Ficha técnica de tuberías de entrada y salida del TKC07 .....	53
<b>Tabla 12-3:</b> Tuberías de entrada y salida del TKC08 .....	53
<b>Tabla 13-3:</b> Tubería de salida del TKR09.....	54
<b>Tabla 14-3:</b> Espesor mínimo requerido de tuberías del TKR01.....	56
<b>Tabla 15-3:</b> Espesor mínimo requerido de tuberías del TKC02.....	57
<b>Tabla 16-3:</b> Espesor mínimo requerido de tuberías del TKC03.....	57
<b>Tabla 17-3:</b> Espesor mínimo requerido de tuberías del TKC04.....	58
<b>Tabla 18-3:</b> Espesor mínimo requerido de tuberías del TKC05.....	58
<b>Tabla 19-3:</b> Espesor mínimo requerido de tuberías del TKR06.....	59
<b>Tabla 20-3:</b> Espesor mínimo requerido de tuberías del TKC07.....	59
<b>Tabla 21-3:</b> Espesor mínimo requerido de tuberías del TKC08.....	60

<b>Tabla 22-3:</b> Espesor mínimo requerido de tuberías del TKR09.....	60
<b>Tabla 23-3:</b> Espesores mínimos del TKR01 .....	61
<b>Tabla 24-3:</b> Espesores mínimos del TKC02 .....	61
<b>Tabla 25-3:</b> Espesores mínimos del TKC03 .....	62
<b>Tabla 26-3:</b> Espesores mínimos del TKC04 .....	63
<b>Tabla 27-3:</b> Espesores mínimos del TKC05 .....	63
<b>Tabla 28-3:</b> Espesores mínimos del TKR06 .....	64
<b>Tabla 29-3:</b> Espesores mínimos del TKC07 .....	64
<b>Tabla 30-3:</b> Espesores mínimos del TKC08 .....	65
<b>Tabla 31-3:</b> Espesores mínimos del TKR09 .....	65
<b>Tabla 32-3:</b> Espesores máximos del TKR01.....	66
<b>Tabla 33-3:</b> Espesores máximos del TKC02.....	66
<b>Tabla 34-3:</b> Espesores máximos del TKC03.....	67
<b>Tabla 35-3:</b> Espesores máximos del TKC04.....	67
<b>Tabla 36-3:</b> Espesores máximos del TKC05.....	68
<b>Tabla 37-3:</b> Espesores máximos del TKR06.....	68
<b>Tabla 38-3:</b> Espesores máximos del TKC07.....	69
<b>Tabla 39-3:</b> Espesores máximos del TKC08.....	69
<b>Tabla 40-3:</b> Espesores máximos del TKR09.....	70
<b>Tabla 41-3:</b> Espesor medio del TKR01.....	70
<b>Tabla 42-3:</b> Espesor medio del TKC02.....	71
<b>Tabla 43-3:</b> Espesor medio del TKC03.....	71
<b>Tabla 44-3:</b> Espesor medio del TKC04.....	72
<b>Tabla 45-3:</b> Espesor medio del TKC05.....	72
<b>Tabla 46-3:</b> Espesor medio del TKR06.....	73
<b>Tabla 47-3:</b> Espesor medio del TKC07.....	73
<b>Tabla 48-3:</b> Espesor medio del TKC08.....	74
<b>Tabla 49-3:</b> Espesor medio del TKR09.....	74
<b>Tabla 50-3:</b> Espesores bajos en el tanque TKR01 .....	75
<b>Tabla 51-3:</b> Zonas de espesores más bajos en el tanque TKC02 .....	77
<b>Tabla 52-3:</b> Zonas de espesores más bajos en el tanque TKC03 .....	78
<b>Tabla 53-3:</b> Zonas de espesores más bajos en el tanque TKC04 .....	79
<b>Tabla 54-3:</b> Zonas de espesores más bajos en el tanque TKC05 .....	80
<b>Tabla 55-3:</b> Zonas de espesores más bajos en el tanque TKR06 .....	81
<b>Tabla 56-3:</b> Zonas de espesores más bajos en el tanque TKC07 .....	82
<b>Tabla 57-3:</b> Zonas de espesores más bajos en el tanque TKC08 .....	83
<b>Tabla 58-3:</b> Zonas de espesores más bajos en el tanque TKR09 .....	84

<b>Tabla 59-3:</b> Espesores requeridos con espesores medidos de D= 50mm.....	85
<b>Tabla 60-3:</b> Comparación de espesor calculado vs espesor medido con D= 75mm .....	86
<b>Tabla 61-3:</b> Comparación de espesor calculado vs espesor medido con D= 100mm .....	87
<b>Tabla 62-3:</b> Vida útil de tuberías del TKR01.....	89
<b>Tabla 63-3:</b> Vida útil de tuberías del TKC02.....	90
<b>Tabla 64-3:</b> Vida útil de tuberías del TKC03.....	91
<b>Tabla 65-3:</b> Vida útil de tuberías del TKC04.....	92
<b>Tabla 66-3:</b> Vida útil de tuberías del TKC05.....	93
<b>Tabla 67-3:</b> Vida útil de tuberías del TKR06.....	94
<b>Tabla 68-3:</b> Vida útil de tuberías del TKC07.....	94
<b>Tabla 69-3:</b> Vida útil de tuberías del TKC08.....	95
<b>Tabla 70-3:</b> Vida útil de tuberías del TKR09.....	96
<b>Tabla 71-3:</b> Desgaste de tuberías del TKR01 .....	97
<b>Tabla 72-3:</b> Desgaste de tuberías del TKC02 .....	98
<b>Tabla 73-3:</b> Desgaste de tuberías del TKC03 .....	99
<b>Tabla 74-3:</b> Desgaste de tuberías del TKC04 .....	100
<b>Tabla 75-3:</b> Desgaste de tuberías del TKC05 .....	101
<b>Tabla 76-3:</b> Desgaste de tuberías del TKR06 .....	102
<b>Tabla 77-3:</b> Desgaste de tuberías del TKC07 .....	102
<b>Tabla 78-3:</b> Desgaste de tuberías del TKC08 .....	103
<b>Tabla 79-3:</b> Desgaste de tuberías del TKR09 .....	104
<b>Tabla 80-3:</b> Frecuencias de inspección recomendando.....	105
<b>Tabla 81-3:</b> Inspección de las tuberías de los tanques .....	105

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1-1:</b> Zonas del sonido en el espectro acústico .....	6
<b>Figura 2-1:</b> Transductores de un solo cristal.....	9
<b>Figura 3-1:</b> Partes principales del equipo .....	10
<b>Figura 4-1:</b> Uso correcto del equipo .....	12
<b>Figura 5-1:</b> Selección de velocidad de sonido .....	12
<b>Figura 6-1:</b> Antes del ajuste / Después del ajuste .....	13
<b>Figura 7-1:</b> Listo para la calibración / Listo para usar .....	13
<b>Figura 8-1:</b> Desgaste entre "dos cuerpos" .....	20
<b>Figura 9-1:</b> Elementos de los tanques de almacenamiento .....	25
<b>Figura 10-1:</b> Marcaje de tubería de acero galvanizado .....	35
<b>Figura 1-3:</b> Puntos de referencia.....	54
<b>Figura 2-3:</b> Puntos de referencia a lo largo de la tubería .....	55
<b>Figura 3-3:</b> Toma de espesores bajos en los 4 puntos cardinales.....	75

## LISTA DE GRÁFICOS

	<b>Pág.</b>
<b>Gráfico 1-3:</b> Longitud de total de tubería analizada de tanques rectangulares .....	48
<b>Gráfico 2-3:</b> Longitud de total de tubería analizada de tanques cilíndricos.....	49
<b>Gráfico 3-3:</b> Zonas A, B, C, D con espesores bajos del TKR01 .....	76
<b>Gráfico 4-3:</b> Zonas A, B, C, D con espesores bajos del TKC02.....	77
<b>Gráfico 5-3:</b> Zonas A, B, C, D con espesores bajos del TKC03.....	78
<b>Gráfico 6-3:</b> Zonas A, B, C, D con espesores bajos del TKC04.....	79
<b>Gráfico 7-3:</b> Zonas A, B, C, D con espesores bajos del TKC05.....	80
<b>Gráfico 8-3:</b> Zonas A, B, C, D con espesores bajos del TKR06.....	81
<b>Gráfico 9-3:</b> Zonas A, B, C, D con espesores bajos del TKC07.....	82
<b>Gráfico 10-3:</b> Zonas A, B, C, D con espesores bajos del TKC08.....	83
<b>Gráfico 11-3:</b> Zonas A, B, C, D con espesores bajos del TKR09.....	84
<b>Gráfico 12-3:</b> Espesor medido y espesor requerido de tuberías con D=50 mm.....	86
<b>Gráfico 13-3:</b> Espesor medido y espesor requerido de tuberías con D=75 mm.....	87
<b>Gráfico 14-3:</b> Espesor medido y espesor requerido de tuberías con D=100 mm.....	88
<b>Gráfico 15-3:</b> Vida útil (años) de tuberías del TKR01.....	89
<b>Gráfico 16-3:</b> Vida útil (años) de tuberías del TKC02.....	90
<b>Gráfico 17-3:</b> Vida útil (años) de tuberías del TKC03.....	91
<b>Gráfico 18-4:</b> Vida útil (años) de tuberías del TKC04.....	92
<b>Gráfico 19-3:</b> Vida útil (años) de tuberías del TKC05.....	93
<b>Gráfico 20-3:</b> Vida útil (años) de tuberías del TKC07.....	94
<b>Gráfico 21-3:</b> Vida útil (años) de tuberías del TKC08.....	95
<b>Gráfico 22-3:</b> Desgaste de tuberías del TKR01 .....	97
<b>Gráfico 23-3:</b> Desgaste de tuberías del TKC02 .....	98
<b>Gráfico 24-4:</b> Desgaste de tuberías del TKC03 .....	99
<b>Gráfico 25-3:</b> Desgaste de tuberías del TKC04 .....	100
<b>Gráfico 26-3:</b> Desgaste de tuberías del TKC05 .....	101
<b>Gráfico 27-3:</b> Desgaste de tuberías del TKC07 .....	103
<b>Gráfico 28-4:</b> Desgaste de tuberías del TKC08 .....	104

## **ANEXOS**

**A.** Medición de espesores por ultrasonido de los tanques de almacenamiento

**B.** Reportes de inspección realizados.

**C.** Tablas de espesores de accesorios.

## SIMBOLOGÍA

A	Amplitud	mm/s
$\lambda$	Longitud de onda	mm
C	Velocidad acústica	mm/s
f	Frecuencia	Hz
T	Espesor medido	mm
Vu	Vida útil	años
t <sub>M</sub>	Espesor real	mm
t <sub>R</sub>	Espesor requerido	mm
P <sub>i</sub>	Presión interna	psi
P <sub>w</sub>	Presión de trabajo	psi
P <sub>s</sub>	Presión tolerancia de sobretensión	psi
S	Limite elástico mínimo en tensión	psi
D	Diámetro exterior	mm
L	Longitud	m

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>ABREVIATURA</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
ASTM	Sociedad Americana para pruebas y materiales
API	Instituto Americano del Petróleo
AWWA	Asociación Americana de Trabajos de agua
ANSI	Instituto Nacional Americano
EN	Norma Española
ASTM E797	Práctica estándar para medir espesores mediante el método manual de ultrasonido de pulso – eco
API 570	Código de inspección de tuberías
AWWA C150	Norma nacional estadounidense para el diseño de espesores de tubería de hierro dúctil.
UNE EN 13306	Terminología de Mantenimiento
END	Ensayos no destructivos
TK	Tanque de almacenamiento
TML	Puntos de medición de espesores
TKR	Tanque de almacenamiento rectangular
TKC	Tanque de almacenamiento cilíndrico

## RESUMEN

Se realizó la determinación del estado técnico de las tuberías de los tanques de almacenamiento de agua potable del GAD parroquial rural de Licán mediante ultrasonido. Para desarrollar este trabajo de titulación se investigó sobre la medición de espesores por medio de técnicas de ensayos no destructivos con ultrasonido, utilizando las normas ASTM E797 guía práctica para la medición de espesores con ultrasonido, la norma AWWA C 150 para el diseño de espesor requerido en las tuberías de agua, y la API 570 para el desgaste que ocurre en las tuberías a través de los procedimientos para la inspección y evaluación del estado de las tuberías que son sometidas al ensayo de ultrasonido a través de la medición de espesores, permitiendo calcular la velocidad de desgaste y vida útil. Para la medición de espesores se utilizó el equipo Benetech GM130 de 5MHz. En el desarrollo se elaboró la codificación y fichas técnicas de los tanques de almacenamiento, luego se realizó la toma de espesores en las tuberías de entrada, salida y desfogue de acero galvanizado, con lo cual se hizo un análisis estadístico y técnico, que ayudará a determinar los espesores máximos, medios, mínimos, y puntos bajos en las zonas ABCD de la sección transversal de las tuberías. Una vez analizado los datos obtenidos de la medición de espesores, se encontró que en la parte superior de la tubería (punto A) se tiene el mayor desgaste, con lo cual se analizó que la pérdida de material debido al deterioro, es de tipo mecánico – corrosivo, además se calculó la velocidad de desgaste, vida útil y las próximas inspecciones en las tuberías para finalizar con la elaboración de los reportes finales de inspección en los 9 tanques de almacenamiento. Se recomienda realizar un análisis a las tuberías con menor vida útil, en base a la velocidad de desgaste para la planificación de tareas de mantenimiento y tomar como base este trabajo para el análisis de sistemas similares con tuberías de acero galvanizado en otros sectores de la provincia.

**PALABRAS CLAVE:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <ULTRASONIDO>, <TANQUES DE ALMACENAMIENTO> <TUBERÍAS DE ACERO GALVANIZADO>, <MEDICIÓN DE ESPESORES>, <VELOCIDAD DE DESGASTE>, <VIDA ÚTIL>



04-07-2019

## ABSTRACT

The determination of the technical state of the conducts of the drinking water storage tanks of the rural parish GAD Licán was carried out by means of ultrasound. To develop this investigative work was investigate on thickness measurement by means of ultrasound non-destructive testing techniques, used the ASTM E797 standards, practical guide for measuring thicknesses with ultrasound the AWWA C 150 standard for the design of thicknesses required in water pipes, conventional water, and the API 570 for wear that occurs in the pipes through the procedures for the inspection and evaluation of the condition of the pipes that are subjected to the ultrasound test through the measurement of thicknesses, allowing to calculate the speed of wear and useful life. To measure the thickness, Benetech GM130 5MHz equipment was used. In the development, the coding and the technical data sheets of the storage tanks were elaborated, then the thickness was taken in the entrance, exit and exhaust connections of galvanized steel, with which performed a statistical analysis and technical, that a determine thickness the maximum, average, minimum and low points in the ABCD areas of the cross section of the pipes. once the data obtained from the measurement of thicknesses have been analyzed, it was found that at the top of the pipe (point A) you have the greatest wear, which has analyzed the loss of material due to deterioration, is mechanical - corrosive type, in addition, the wear speed was calculated, the service life and the next inspections in the pipes were to finalize with the elaboration of the final inspection reports in the 9 storage tanks. It is recommended to perform an analysis of the pipes with less useful life, based on the wear rate for the planning of maintenance tasks and to take as a basis this work for the analysis of similar systems with galvanized steel pipes in others sectors of the province.

**KEY WORDS:** <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <ULTRASOUND>, <STORAGE TANKS>, < GALVANIZED STEEL PIPE>, <THICKNESS MEASUREMENT>, <WEAR RATE>, <SHELF LIFE>

## INTRODUCCIÓN

Las tuberías de acero galvanizado a medida que transcurre su tiempo de operación tienden a presentar desgaste en su interior, siendo este último como un proceso inevitable, pero si controlable, en razón de que se cuenta hoy en día con diversas estrategias de mantenimiento para poder afrontar esta problemática que aqueja tanto al sector industrial como público.

En la propuesta del trabajo de titulación se realizará la determinación del estado técnico de las tuberías de los tanques de almacenamiento de agua potable del GAD parroquial de Licán, para lo cual se utilizará el método de ultrasonido que forma parte de la estrategia de mantenimiento predictivo para detectar fallos potenciales mediante la medición de espesores, no repercute de manera directa en la operación e instalación de dichas tuberías, por lo que resulta conveniente y económico su aplicación, además mediante la medición de espesores se puede calcular la velocidad de desgaste y vida útil para conocer el tipo de desgaste que ocurre en su interior.

Para definir de mejor manera la velocidad de desgaste y la vida útil mediante la medición de espesores con ultrasonido se implementará la información proporcionada por las normas ASTM E 797, API 570 Y AWWA C 150.

## **CAPÍTULO I**

### **1.1 Problematización**

Actualmente para el tratamiento de agua potable, en la parroquia de Licán, solo se cuenta con un sistema de cloración , almacenamiento y distribución, además de que no se ha realizado hasta la fecha de hoy un análisis técnico de los tramos de las tuberías de entrada y salida de los tanques de hormigón para saber en qué condiciones se encuentran estas tuberías de acero galvanizado luego de 11 años de utilización, con lo cual se desconoce el tiempo de la vida útil, ni tampoco se conoce cuáles son los tipos de desgaste, condiciones de agresividad y factores que afecten a este tipo de tuberías, también no se cuenta con historiales de fallos, ni otro tipo de documentación relacionada con el mantenimiento, añadiendo a esto que el mantenimiento para el sistema de agua potable de esta parroquia está a cargo de un solo técnico por lo cual tiene que atender todas las actividades de mantenimiento, siendo en su totalidad correctivas, así como también es el único que puede proporcionar información y brindar el acceso a las instalaciones y ubicación de los tanques de almacenamiento en los diferentes lugares en que estos se encuentran, detectando así que uno de los problemas principales es la carencia de un análisis y estudio técnico para las tuberías de entrada y salida de los tanques de almacenamiento de agua potable de esta parroquia.

### **1.2 Justificación y actualidad**

En la actualidad en la parroquia de Licán para el abastecimiento de agua potable a sus pobladores cuenta con 9 tanques de hormigón, los cuales fueron instalados desde hace 11 años, además las tuberías de entrada y salida para estos tanques son de acero galvanizado, con lo cual están expuestos al desgaste, provocando que se reduzca así los espesores de pared a lo largo del tiempo de su vida útil en que se ha ido desarrollando por su uso o por agentes agresivos que aceleran el desgaste de este tipo tuberías. Añadiendo a esto que no se ha realizado ningún análisis técnico para las tuberías de entrada y salida de estos tanques de hormigón desde el año 2007 en que fueron instalados.

En razón de esto como estudiante de la carrera de Ingeniería de Mantenimiento, se propone realizar un análisis técnico e investigativo de las tuberías de entrada y salida de estos tanques de almacenamiento mediante el método de ultrasonido, con cual se tomará mediciones de los espesores de las tuberías para saber cuáles son las tuberías que se encuentra con mayor y menor desgaste y además conocer el tiempo de vida útil de este tipo de tuberías, para así poder proponer

mejoras técnicas para el mantenimiento de estas tuberías de agua potable en favor de los habitantes de esta parroquia.

Este proyecto de titulación se fundamenta en la investigación de los parámetros de duración de servicio de las tuberías de acero galvanizado, las cuales son: el espesor, la correcta instalación y el medio agresivo al que se encuentran sometidas este tipo de tuberías, y también a la carencia de un análisis técnico para cada una de las tuberías de entrada y salida de los tanques de hormigón, lo que conlleva a que muchas de estas tuberías tengan un deterioro prematuro con el paso tiempo, afectando directamente así al abastecimiento de agua potable a los pobladores de esta parroquia.

### **1.3 Antecedentes**

La parroquia de Licán está ubicada a 2 Km de la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo, en la cual existen 7963 habitantes actualmente distribuidos en 32 barrios los cuales son: Barrio Central, La Quinta, Lucerito, La Florida, 24 de Mayo, 1ro de Mayo, El Recreo, La Lolita, Liribamba, Corona Real, Vida Nueva, Duraznopamba, San Pedro de Macají, Manzanapamba, Alborada del Sur, Villa la Unión, Urdesa, Santa Rosa y Caminos de Belén, y sus 4 comunidades que son: Comunidad Cunduana y sus barrios: Central, Bellavista del estadio, Barrio Nuevo, las Carmelitas, El Mirador, La Inmaculada, San Francisco y La Unión, comunidad San José de Macají, La Almería y San Francisco de Macají con sus barrios: Flor de Paraíso, Lanzapamba, Mirador Alto.

En cada uno de estos barrios una de las principales preocupaciones de los habitantes es el abastecimiento de agua potable.

El agua potable es el fluido cuyas características físicas, químicas y microbiológicas han sido tratadas a fin de garantizar su aptitud para el consumo humano, siendo esta una necesidad fundamental para la humanidad, se estima que cada persona necesita de 20 a 50 litros de agua potable limpia al día para beber, cocinar o simplemente mantenerse limpios.

Uno de los principales aspectos para cumplir con el suministro de agua potable a esta población es su almacenamiento y transporte. En la cual el sistema de almacenamiento incluye las obras y trabajos auxiliares construidos para la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento de agua potable, en tanto que el sistema de distribución comprende las obras y trabajos auxiliares construidos desde la salida de la planta de tratamiento hasta la acometida domiciliaria.

Esta parroquia cuenta con 9 tanques de hormigón para el abastecimiento de agua potable, los cuales tres son de 50 m<sup>3</sup>, dos de 40 m<sup>3</sup>, uno de 30 m<sup>3</sup> y dos de 150 m<sup>3</sup>, de volumen respectivamente, los cuales están destinados para los diferentes barrios en donde que cada uno de estos cuenta con tuberías de 2 in, 3 in, 4 in, y 8 in para sus entradas y salidas.

Las tuberías para las entradas y salidas son de material de acero galvanizado, siendo estas las que conducen el agua a cada tanque de almacenamiento y también las encargadas de distribuir el agua potable para cada uno de los barrios de esta zona rural.

#### **1.4 Hipótesis de investigación**

La tubería de acero galvanizado que tienen en la entrada y salida de los tanques deben presentar desgaste corrosivo o erosivo en sus paredes luego de los 11 años en que ha estado operando.

#### **1.5 Objetivos**

##### **1.5.1 *Objetivo general***

Determinar el estado técnico de las tuberías de alimentación y distribución de los tanques de almacenamiento de agua potable de la zona rural de Licán, a través de ensayos no destructivos empleando ultrasonido.

##### **1.5.2 *Objetivos específicos***

Investigar los tipos de desgaste, causas y factores que afectan en este tipo de tuberías de agua potable

Medir los espesores de las tuberías de alimentación y distribución de los tanques de almacenamiento mediante ultrasonido.

Analizar los datos obtenidos de las tuberías de alimentación y distribución de cada tanque de almacenamiento mediante el cálculo del desgaste de las mismas, y la respectiva medición de diámetros y medición de espesores a través de la elaboración de mallas en las tuberías.

Determinar el estado técnico actual a través del cálculo de vida útil de las tuberías.

## **1.6 Marco teórico**

### **1.7 Mantenimiento según norma UNE EN 13306**

El mantenimiento es la combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión, durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o devolverlo a un estado en el cual pueda desarrollar la función requerida (UNE-EN, 2002 pág. 8).

#### **1.7.1 *Objetivos del mantenimiento***

Metas establecidas para todas las actividades de mantenimiento (UNE-EN, 2002 pág. 8).

#### **1.7.2 *Estrategia de mantenimiento***

Conjunto de acciones de gestión que se utilizan para alcanzar los objetivos del mantenimiento (UNE-EN, 2002 pág. 9).

#### **1.7.3 *Plan de mantenimiento***

Conjunto ordenado de tareas que abarca las actividades, procedimientos, recursos y el tiempo que se requiere para realizar el mantenimiento (UNE-EN, 2002 pág. 9).

#### **1.7.4 *Vida útil***

Tiempo estimado bajo condiciones dadas que termina cuando la tasa de fallos es inaceptable, o cuando el elemento se considera como irreparable a causa de una avería (UNE-EN, 2002 pág. 11).

## **1.8 Fallos y eventos**

### **1.8.1 *Fallo***

Interrupción en la capacidad de un elemento para realizar una función requerida (UNE-EN, 2002 pág. 11).

### **1.8.2 *Fallo por desgaste***

Fallo cuya posibilidad de aparición aumenta con el tiempo de operación. El desgaste es un fenómeno físico que conlleva a la pérdida o deformación de un material (UNE-EN, 2002 pág. 11).

### **1.8.3 Fallo por envejecimiento**

Fallo cuya posibilidad de aparición aumenta con el paso del tiempo. Este tiempo es independiente del tiempo de operación del elemento. El envejecimiento es un fenómeno físico que implica un cambio de las características físicas y/o químicas del material (UNE-EN, 2002 pág. 11).

### **1.8.4 Desgaste**

Proceso irreversible en una o más características de un elemento en el transcurso del tiempo, utilización o bien por una causa externa a ambos. El desgaste puede ocasionar el fallo (UNE-EN, 2002 pág. 11).

## **1.9 Mantenimiento Predictivo**

El mantenimiento predictivo o mantenimiento basado en la condición es una estrategia de mantenimiento que relaciona una variable física con el desgaste o estado de un activo, fundamentándose así en un grupo de técnicas predictivas (ensayos no destructivos) que nos permitan diagnosticar el funcionamiento de los activos sin la necesidad de interrumpir en el mismo, detectando así fallos potenciales. Las técnicas que más se utilizan en la industria son:

- Análisis de vibraciones.
- Termografía.
- Análisis de aceites o fluidos.
- Método de ultrasonido.
- Análisis de partículas magnéticas.
- Método de tintas penetrantes.

Cada una de estas técnicas se complementan una con otra para la detección y evaluación de fallos potenciales, aumentando así la fiabilidad de los mismos.

Los ensayos no destructivos se pueden aplicar desde los procesos de instalación o montaje, hasta los procesos de control de calidad, siendo así para estos casos de gran aplicación el método de ultrasonido el cual se utiliza para la medición de espesores de un elemento o para verificar que no exista discontinuidades en la parte física del mismo.

### 1.9.1 Método de ultrasonido

El método de ultrasonido es una técnica del mantenimiento predictivo que sirve para detectar fallos potenciales, es un tipo de ensayo no destructivo, el cual se caracteriza por no ocasionar ningún tipo de daño en el diseño y estructura de un elemento a inspeccionar, con lo cual se emplea para detectar posibles discontinuidades en el elemento a inspeccionar tanto en la parte superficial, como interior.

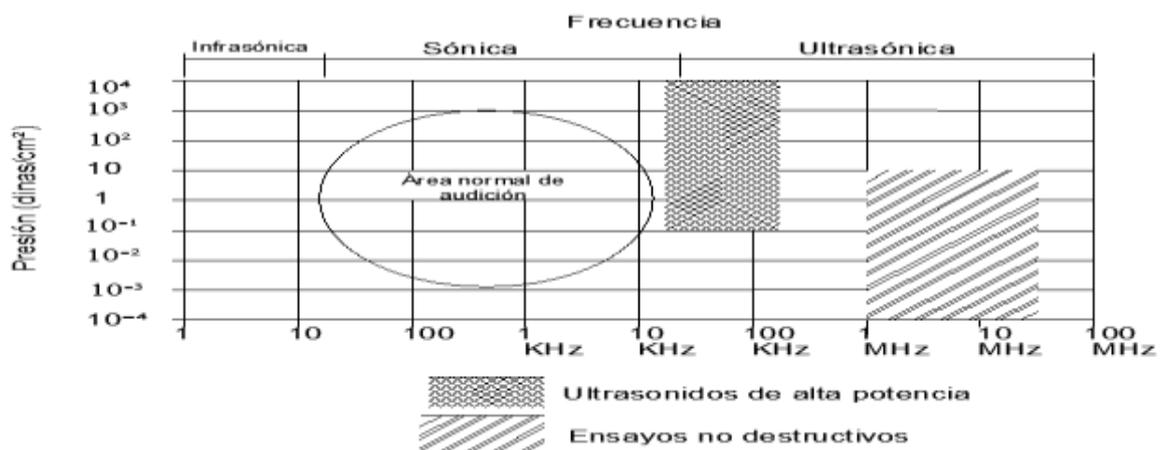
Su principio se basa en la medición de la propagación del sonido en el medio que constituyen los elementos a diagnosticar, pudiéndose aplicar esto en todo tipo de materiales.

El ultrasonido se lo emplea para detectar fallos potenciales y para la medición de espesores, para analizar superficies coladas o soldadas.

### 1.9.2 Naturaleza de los ultrasonidos

Los ultrasonidos son ondas del mismo tipo que los sonidos audibles, diferenciándose en tan solo su frecuencia de operación y forma de propagación. Estos operan con frecuencias por encima de la zona audible del espectro acústico (León, 2009 pág. 1).

En la figura 1-1 se observan tres zonas definidas en el espectro acústico, las cuales son: la zona infrasónica, sónica y ultrasónica.



**Figura 1-1:** Zonas del sonido en el espectro acústico  
Fuente: (León, 2009)

- **INFRASÓNICA.** Conocida también como la zona de sonidos no audible por el oído humano. A esta zona le corresponden las oscilaciones cuya frecuencia es menor a 16 Hz/seg (León, 2009 pág. 1).

- **SÓNICA.** Es conocida como la zona de sonidos audibles, que va desde una frecuencia de oscilación de 16 a 20.000 Hz/seg (León, 2009 pág. 2). Unas ondas acústicas dentro de estas frecuencias pueden ser no audibles al no tener un mínimo de presión acústica necesaria para ser registrada por el oído humano, o a su vez por sobrepasar la presión máxima soportable por los mecanismos físicos del oído.

Para saber cuándo una onda sonora se aproxima al máximo de frecuencia soportable por el oído (20 KHz), es el momento en que el sonido empieza a ser insoportable en el oído, a esto se lo conoce como Umbral de dolor.

- **ULTRASÓNICA.** Zona donde la frecuencia de oscilación es superior a los 20 KHz. Las frecuencias más altas logradas hasta el momento son de 100 MHz (León, 2009 pág. 2).

Las frecuencias utilizadas en los ensayos para el control de heterogeneidades en ensayos de metales se realizan con frecuencias que van de 1 a 25 MHz (León, 2009 pág. 2).

### **1.9.3** *Características de las ondas ultrasónicas*

Las ondas ultrasónicas son ondas longitudinales en la que el movimiento de oscilación de las partículas del medio es paralelo a la dirección de la propagación de la onda, se comportan igual que las ondas de sonido audible, es decir que necesitan de un medio ya sea sólido, líquido, gaseoso o elástico para su propagación, por lo cual no se propagan en el vacío.

### **1.9.4** *Parámetros de las ondas ultrasónicas*

- **Amplitud (A).** Es el desplazamiento máximo de la partícula de su posición de equilibrio (León, 2009 pág. 6).

- **Longitud de onda ( $\lambda$ ).** Es la distancia entre 2 planos de partículas que se encuentran en un mismo estado de movimiento. La longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia: (León, 2009 pág. 6)

$$\lambda = \frac{C}{f} \quad (1)$$

En donde:

$\lambda$ : Longitud de onda

$C$ : Velocidad acústica.

$f$ : Frecuencia.

- **Velocidad acústica (C).** Es la velocidad de propagación de la onda acústica a través del medio. Es constante y característica de cada material, sea cual sea la frecuencia, sobre todo en los metales ya que las variaciones mínimas debidas a presión y temperatura son despreciables. No ocurre lo mismo en líquidos y gases, ya que en estos medios la velocidad varía en función de la presión y sobre todo en la temperatura. (León, 2009 pág. 6)

La velocidad acústica es producto de la frecuencia por la longitud de onda:  $C = f * \lambda$ . (León, 2009 pág. 6).

- **Frecuencia (f).** Es el número de oscilaciones completas que una partícula realiza por segundo. En el ultrasonido es necesario utilizar los múltiplos del Hertzio (León, 2009 pág. 6):

Kilohertzio (Khz) = 1000 Hz

Mega hertzio (MHz) = 1000000 Hz.

#### **1.9.4.1 Aplicación del ultrasonido según su frecuencia.**

Son tantas las aplicaciones del ultrasonido, que la podemos clasificar según su frecuencia:

- **Frecuencias de 30 a 100 KHz.** Se utilizan en procesos industriales como: navegación, pesca, comunicaciones, química, soldadura, biología, soldadura, mecanizado, colado – moldeo (León, 2009 pág. 1).
- **Frecuencias de 100 Khz a 100 MHz.** Utilizadas en el control de calidad, para ensayos de defectología, metrología y caracterización, en la industria metalúrgica, para el control de productos fundidos, forjados y laminados, como chapas, tubos o alambres (León, 2009 pág. 1).

## 1.10 Importancia y beneficios de los ensayos por ultrasonido

La utilización de los ensayos no destructivos mediante ultrasonido se puede realizar cuando un equipo, elemento o instalación esté o no en funcionamiento por lo que resulta beneficioso al momento de no intervenir en su operación, además este ensayo es de fácil aplicación para la persona que va a realizar una inspección a través de esta técnica, pero requiere de un conocimiento básico acerca del ultrasonido para así obtener una aplicación correcta y datos precisos mediante la aplicación de este ensayo.

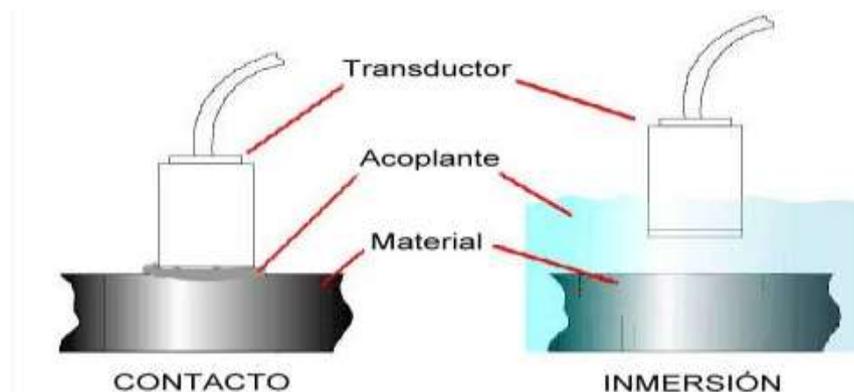
## 1.11 Métodos de inspección ultrasónica

Los métodos más utilizados para la inspección mediante el ultrasonido son el método por transmisión y el de pulso – eco, siendo la principal diferencia entre ambos métodos que solo se mide la disminución de la señal en el caso del método de transmisión, en cambio el método pulso – eco no solo mide la disminución de la señal, sino que también mide el tiempo de circulación de la señal.

### 1.11.1 Método de pulso – eco

Es el mayor método que se emplea para la medición de espesores por ultrasonido, consiste en aplicar energía al palpador en forma de pulsos cortos continuos, esto se fundamenta en el estudio de los fenómenos de reflexión que ocurren en las ondas ultrasónicas de los bordes de las piezas a inspeccionar y en las discontinuidades que estas presenten.

Se utilizan palpadores simples de un solo cristal que actúan como emisor y receptor, o también se utilizan con 2 cristales para que el uno actúe como emisor y el otro como receptor dependiendo del equipo de medición de espesores que se posea, esto se puede ver en la siguiente figura.



**Figura 2-1:** Transductores de un solo cristal  
Fuente: (herramientas)

## 1.12 Descripción del equipo de medición de ultrasonido GM130 Benetech

Es un equipo de medición de espesores de fácil y rápida lectura, siendo aplicable para diferentes tipos de materiales como el aluminio, zinc, acero, cobre, etc.; además este equipo posee una calibración automática, lo que permite una medición más precisa.

### 1.12.1 Partes principales del equipo GM130 Benetech

Dentro de las partes principales del equipo de medición de espesores por ultrasonido GM130 tenemos 7 en total, las cuales se enumeran y se describen de manera detallada a continuación en la siguiente figura:



**Figura 3-1:** Partes principales del equipo  
Fuente: (Benetech)

- 1) Pantalla LCD
- 2) Teclado
- 3) Bloque de muestra.
- 4) Compartimiento de la batería (Caja trasera)
- 5) Transductor o palpador
- 6) Zócalo de emisión.
- 7) Zócalo de recepción.

### 1.12.2 Especificaciones

Las especificaciones más importantes a considerar para este equipo de medición se detallan en la siguiente tabla.

**Tabla 1-1:** Especificaciones del equipo Benetech GM130

<b>Dimensiones (mm)</b>	Largo= 80 Ancho= 38 Alto= 150
<b>Rango de medición (mm)</b>	1 – 300 en aceros
<b>Precisión (mm)</b>	+/- (1% H + 0,1) H: denota el espesor medido
<b>Rango de velocidad del sonido (m/s)</b>	1000 – 9999
<b>Frecuencia de trabajo</b>	5 Mhz
<b>Peso (g)</b>	210
<b>Fuente de alimentación (v)</b>	1.5 c.c
<b>Temperatura de operación (°C)</b>	0 a 40
<b>Temperatura de la pieza (°C)</b>	< 60
<b>Humedad relativa (°C)</b>	< 90

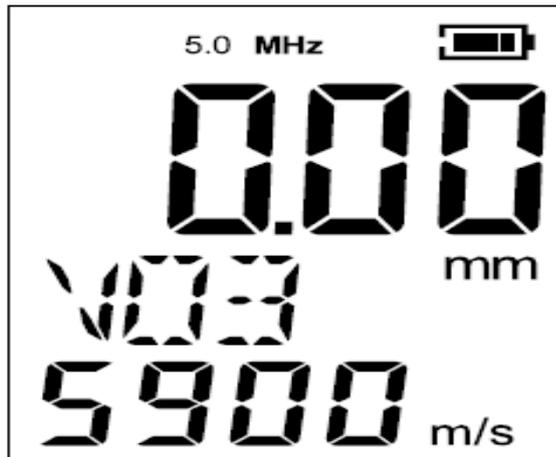
Fuente: (Bentech)

### 1.12.3 Calibración y modo de operación del equipo

Para la correcta calibración y operación del equipo se debe realizar como se indica en el manual del equipo, el cual nos dice lo siguiente:

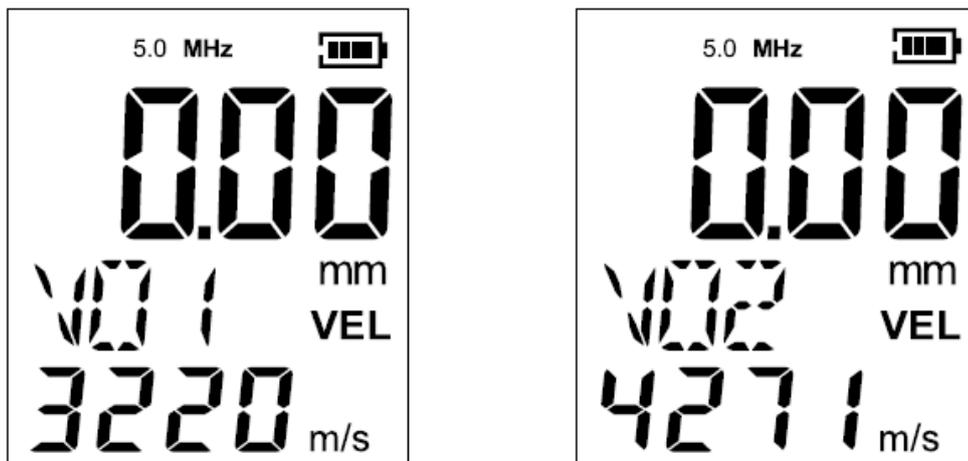
- Para encender el equipo se debe presionar el botón de encendido y mantenerlo pulsado hasta que se encienda la pantalla LCD.
- Después de 5 segundos se ingresa el estado de medición de espesor el cual inicia desde 0,00 mm, la velocidad del sonido se mide desde este punto como se muestra en la siguiente figura.

En el área de visualización se muestra la velocidad del sonido utilizado antes del último apagado en cuyo punto se puede iniciar la medición.



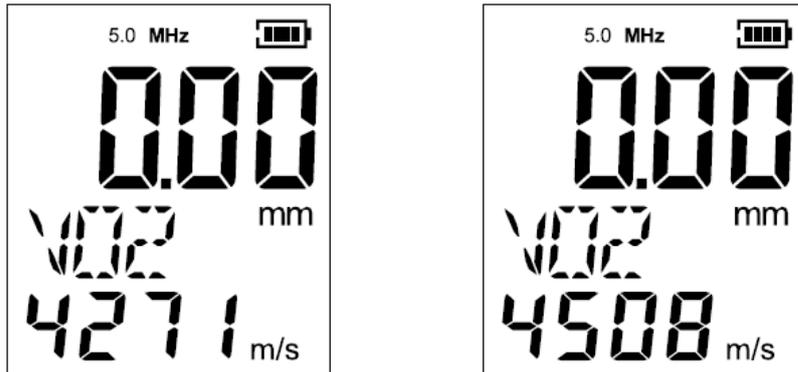
**Figura 4-1:** Uso correcto del equipo  
Fuente: (Bentech)

- Para seleccionar la velocidad del sonido se presiona el botón VEL/DEL dos veces para ingresar al modo de selección de velocidad, la pantalla mostrará el indicador VEL parpadeando; se debe presionar el botón hacia abajo para seleccionar la velocidad del sonido almacenada previamente y luego se presiona el botón ENTER/CALL para confirmar como se muestra a continuación.



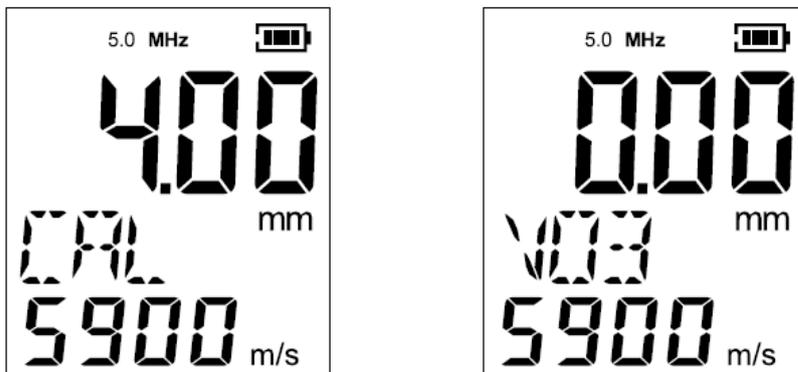
**Figura 5-1:** Selección de velocidad de sonido  
Fuente: (Bentech)

- Para ajustar la velocidad del sonido se debe presionar el botón VEL/DEL una vez, para ingresar al modo de ajuste de velocidad del sonido, el número de la unidad de almacenamiento de la velocidad del sonido parpadeará y se ajustará el valor de la velocidad del sonido con los botones hacia arriba o abajo para ajustarlos al valor deseado.
- Se debe presionar el botón TED nuevamente para confirmar el número de la unidad de almacenamiento de la velocidad del sonido y al hacer esto dejará de parpadear. Este valor de velocidad de sonido se almacenará automáticamente en la unidad de almacenamiento de velocidad de sonido actual, tal como se muestra a continuación.



**Figura 6-1:** Antes del ajuste / Después del ajuste  
Fuente: (Bentech)

- Calibración automática. En el estado de encendido se deberá mantener presionado el botón ENTER/ CALL durante 3 segundos, luego la pantalla LCD mostrará la palabra CAL y en el área de visualización de espesores aparecerá 4.00 mm y el área de velocidad de sonido mostrará 5900 m/s el cual es el valor de la velocidad del sonido calibrado con el bloque de acero entandar de 4.00 mm que viene en el equipo, la palabra CALL desaparecerá y la calibración se completará. Se deberá presionar la tecla de hacia arriba o abajo para ingresar el estado de medición antes de la calibración tal como se muestra a continuación.



**Figura 7-1:** Listo para la calibración / Listo para usar  
Fuente: (Bentech)

#### 1.12.4 *Velocidad de sonido de materiales*

A continuación, se presenta tabla de las diferentes velocidades de sonido de los materiales que se utilizan en el equipo Benetech GM130 para la medición de espesores.

La velocidad del sonido varía según el medio de propagación, los cuales se presentan en estado sólido, líquido o gaseoso, en el caso particular de los metales están considerados en el grupo de los sólidos, además el medio de propagación también influye en la variación de la estructura y las condiciones metalúrgicas de cada material, es por eso que la velocidad del sonido varia en la tabla 2-1 dependiendo del tipo de material.

**Tabla 2-1:** Velocidad de sonido de materiales

<b>NOMBRE DEL MATERIAL</b>	<b>VELOCIDAD DE SONIDO (m/s)</b>
Aluminio	6320
Zinc	4170
Plata	3600
Oro	3240
Estaño	3320
Acero	5900
Latón	4430
Cobre	4700
Resina acrílica	2730
Glicerina	1920

Realizado por: Guaylla, J; 2019

Fuente. (Bentech)

### **1.13 Medición de espesores según la norma ASTM E797**

La norma ASTM E797 (Práctica estándar para la medición de espesores por el método de contacto pulso – eco) es una guía práctica para la medición de espesores mediante ultrasonido, en cual establece la forma de calibrar el equipo a utilizar para la medición de espesores, además de que proporciona recomendaciones para utilizar de manera correcta esta práctica con el fin de obtener mejores resultados en su ejecución.

#### **1.13.1 Alcance**

La norma ASTM E797 proporciona guías para medir el espesor de los materiales utilizando el método de contacto pulso – eco a través del ultrasonido, para materiales en donde sus ondas ultrasónicas se propagan a una velocidad constante a lo largo de su estructura en temperaturas que no superen los 93°C (ASTM, 2001 pág. 1).

#### **1.13.2 Resumen.**

El espesor medido (T) por este método se calcula a través de la fórmula que nos dice que es el producto de la velocidad del sonido en el material y la mitad del tiempo de transmisión a través del material (ASTM, 2001 pág. 1).

$$T = \frac{Vt}{2} \quad (2)$$

Donde:

**T:** espesor medido en mm

**V:** velocidad en mm/s

**t:** tiempo de transmisión en s

El instrumento de ultrasonido de pulso – eco mide el tiempo de transmisión.

La velocidad en el material inspeccionado es una función de las propiedades físicas del material, lo cual indica que existe una constante determinada para cada clase de material en donde se requieren uno o más bloques de referencia con velocidad conocida, o del mismo material a examinar. En general, es deseable que los espesores sean números redondos en lugar de valores impares. (ASTM, 2001 pág. 1)

El elemento de la pantalla digital del instrumento debe ajustarse para presentar valores convenientes del espesor dependiendo del rango que se esté utilizando. El control para esta función puede tener diferentes nombres en diferentes instrumentos, por ejemplo, rango, barrido, estandarización de material o velocidad. (ASTM, 2001 pág. 1)

### **1.13.3 Aplicación**

Las técnicas descritas proporcionan una medición indirecta del espesor de las secciones de materiales que no superan las temperaturas de 200 ° F (93 ° C). Las mediciones se realizan desde un lado del objeto, sin requerir acceso a la superficie posterior.

La medición de espesores mediante ultrasonido se utiliza ampliamente en productos básicos de muchos materiales, como por ejemplo en piezas mecanizadas de precisión y para determinar la disminución de paredes en equipos de proceso causados por corrosión y erosión. (ASTM, 2001 pág. 3).

### **1.14 Inspección de tuberías según norma API 570**

La norma API 570 (Código de inspección de tuberías: inspección, reparación, alteración y revisión de tuberías metálicas que están en servicio) indica los procedimientos para la inspección

y evaluación del estado de las tuberías que son sometidas al ensayo de ultrasonido mediante el método de medición de espesores.

#### **1.14.1 Alcance**

La norma API 570 fue desarrollada para las industrias de refinación de petróleo y procesos químicos, pero puede usarse cuando sea práctico para cualquier sistema de tuberías. La norma API 570 no se utiliza como sustituto de los requisitos de construcción originales (API, 1998 pág. 1).

#### **1.14.2 Aplicación**

La aplicación de esta norma está destinada hacia los siguientes sistemas de fluidos, los cuales pueden ser exclusivos para esta norma u opcionales, siendo estos los siguientes:

- **Sistemas de fluidos incluidos.** Productos derivados del petróleo o químicos crudos, intermedios y acabados, hidrógeno, gas natural, gas combustible y sistemas de combustión (API, 1998 págs. 1-1).
- **Sistemas de fluidos opcionales.** Sistemas de fluidos peligrosos, sistemas de agua incluyendo los sistemas de protección contra incendios, vapor condensado, agua de alimentación de calderas (API, 1998 págs. 1-1).

#### **1.14.3 Tipos de inspección**

Los diferentes tipos de inspección y vigilancia son apropiados según las circunstancias y el sistema de tuberías. Estos incluyen los siguientes:

- Inspección visual interna.
- Inspección de medida de espesores.
- Inspección visual externa.
- Vibración de la inspección de tuberías.
- Inspección suplementaria (API, 1998 págs. 5-6).

#### **1.14.3.1 Inspección de medición de espesores**

Se realiza una inspección de medición de espesores para determinar la condición interna y el espesor restante de los componentes de la tubería. Las mediciones de espesores se obtienen cuando el sistema de tuberías está en funcionamiento o fuera de servicio y deben ser realizadas por el inspector o examinador (API, 1998 págs. 5-6).

#### **1.14.4 Procedimiento para la inspección**

- Antes de iniciar con la inspección, se debe contar con el permiso para trabajar en las cercanías de los sistemas de tuberías, el proceso de inspección se basa en los siguientes parámetros:
- Ubicación de TML (Ubicación de medición de espesores) en las conexiones apropiadas dentro del circuito de los puntos de inyección (API, 1998 págs. 5-2).
- Establecer los TML en la pared de la tubería, en el lugar donde se espera el impacto de la pared de la tubería donde se espera el impacto del fluido (API, 1998 págs. 5-2).
- Establecer ubicaciones intermedias a lo largo de la tubería.
- Revisar de manera externa los sistemas de tuberías para determinar las condiciones que podrían provocar corrosión bajo aislamiento (CUI) y sus signos. Las fuentes de humedad incluyen lluvias, fugas de agua, condensación y sistemas de inundación, las formas más comunes del CUI son la corrosión localizada del acero al carbono y la corrosión por tensión de cloruro en los aceros inoxidables austeníticos. (API, 1998 págs. 5-3)
- Revisar las áreas y tipos de tuberías más susceptibles a CUI las cuales son: áreas expuestas a niebla donde se rocían de las torres de agua de almacenamiento, áreas expuestas a sistemas de diluvio, áreas sujetas a derrames de proceso, ingreso de humedad o vapores ácidos, sistemas de tuberías de acero al carbono que operan en servicio por encima de los 120°C, puntas muertas y accesorios que sobresalen de las tuberías aisladas (API, 1998 págs. 5-3).

#### **1.14.5 Monitoreo de la medición de espesores**

Cada sistema de tubería se monitoreará tomando medidas de espesor en los TML. Los circuitos de tubería con altas consecuencias potenciales si se produce una falla y aquellos sujetos a mayores

tasas de corrosión o corrosión localizada normalmente tendrán más TML y serán monitoreados con mayor frecuencia. Los TML deben distribuirse de manera adecuada a lo largo de cada circuito de tubería. (API, 1998 págs. 5-7)

#### 1.14.6 *Cálculo de desgaste*

La tasa de desgaste a largo plazo de los circuitos de tubería se calculará a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Velocidad de desgaste} = \frac{t_{\text{inicial}} - t_{\text{real}}}{\text{tiempos (años) entre } t_{\text{inicial}} \text{ y } t_{\text{real}}} \quad (3)$$

Dónde:

- **t inicial.** El espesor, en pulgadas (milímetros), en el mismo lugar que el tacto medido en la instalación inicial o al inicio de un nuevo entorno de índice de corrosión (API, 1998 págs. 7-1).
- **t real.** El espesor real, en pulgadas (milímetros), medido en el momento de la inspección para una ubicación o componente dado (API, 1998 págs. 7-1).

#### 1.14.7 *Cálculo de vida útil*

La vida útil restante del sistema de tuberías se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Vida restante (Vu)} = \frac{t_{\text{real}} - t_{\text{requerido}}}{\text{tasa de desgaste}} \quad (4)$$

Dónde:

- **t real:** El espesor real, en pulgadas (milímetros), medido en el momento de la inspección para una ubicación o componente dado (API, 1998 págs. 7-1).
- **t requerido.** El espesor requerido, en pulgadas (milímetros), en la misma ubicación o componente que la medición táctil calculada por las fórmulas de diseño (por ejemplo, presión y estructural) antes de agregar la tolerancia a la corrosión y la tolerancia del fabricante (API, 1998) (API, 1998 págs. 7-1).

## 1.15 Desgaste

El desgaste es un proceso complejo que se produce en las superficies de los cuerpos debido a la fricción de otro cuerpo o medio, trayendo como consecuencia la variación de la micro y macro geometría superficial de la estructura y de las propiedades mecánica – físicas del material con o sin pérdida de material.

### 1.15.1 Tipos de desgaste

Los tipos de desgaste más comunes son los siguientes.

- **Desgaste adhesivo.** También llamado desgaste por fricción o deslizante, se produce debido a la adhesión molecular entre los cuerpos en contacto.
- **Desgaste por fatiga.** Desgaste debido a causas mecánicas producto de tensiones variables y repetidas.
- **Desgaste abrasivo.** Desgaste mecánico como resultado de la acción de corte o rayado de asperezas de alta dureza o de partículas abrasivas.
- **Desgaste mecánico - corrosivo.** Desgaste mecánico acelerado por la acción corrosiva del medio.

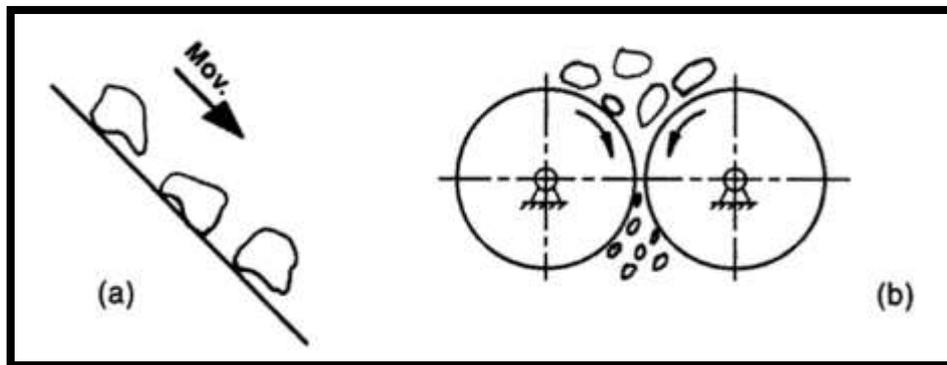
#### 1.15.1.1 Desgaste mecánico corrosivo

El desgaste corrosivo tiene lugar en condiciones de acción del medio ambiente e interacción dinámica entre los tres elementos (2 superficies de contacto y el medio ambiente). Si las 2 superficies reaccionan activamente con el medio ambiente, su fricción en este medio conlleva a la formación ininterrumpida y el desprendimiento de los productos de la reacción. Las superficies pierden material, que pasa a estar contenido en los productos de la reacción. (Pérez, 2002 pág. 96)

Las diferencias entre los mecanismos de desgaste por fatiga superficial, abrasión y adhesión de una parte y el desgaste corrosivo – mecánico de otra son las siguientes:

Los primeros 3 mecanismos pueden, en esencia, describirse simplídicamente, como la interacción entre los cuerpos sólidos 1 y 2, que conllevan directamente a la formación de productos de desgaste de los cuerpos 1 y 2. En el caso del desgaste corrosivo – mecánico,

interactúan tres elementos: los cuerpos sólidos 1 y 2 y el medio ambiente 3. Estas interacciones pueden considerarse como un proceso cíclico de etapas. (Pérez, 2002 pág. 96)



**Figura 8-1:** a) Desgaste entre "dos cuerpos"  
b) Desgaste entre "tres cuerpos"

fuelle: (Pérez, 2002 pág. 89)

- En una primera etapa las superficies 1 y 2 reaccionan con el medio ambiente 3. En este proceso se forman productos de reacción de las sustancias 1 y 3 y también 2 y 3, en las superficies de los cuerpos 1 y 2 (Pérez, 2002 pág. 96).
- Se produce el desprendimiento de los productos de la reacción, provocando como resultado la formación de grietas y del desgaste abrasivo por la interacción de contacto de los cuerpos 1 y 2. Luego de lo anterior, aparecen zonas nuevas en las superficies 1 y 2 y comienza de nuevo la primera etapa (Pérez, 2002 pág. 96).

Además de los procesos de deformación y adhesión, en los procesos de desgaste corrosivo – mecánico intervienen procesos químicos como resultado de los cuales ocurre la formación de productos de la reacción. En estos fenómenos intervienen la energía de fricción. Debido a la activación calórica y mecánica, en las irregularidades superficiales tienen lugar los siguientes cambios: (Pérez, 2002 pág. 96)

- a) La actividad química aumenta debido al incremento de temperatura en las irregularidades, como resultado de lo cual se acelera la formación de la capa de superficies (Pérez, 2002 pág. 96).
- b) Las propiedades mecánicas en las capas superficiales en las irregularidades varían, frecuentemente estas capas experimentan una fractura frágil (Pérez, 2002 pág. 96).

## **1.16 Corrosión interna en tuberías**

La corrosión es la degradación física de un material como consecuencia de una reacción química, en las tuberías se desarrolla con mayor frecuencia en el diámetro interior en función del tiempo de operación de la misma, esto ocasiona una severa deformación en el material si no se controla este fenómeno.

La vida útil de los elementos metálicos está limitada por el deterioro físico – químico que reciben en el entorno en que se encuentren. El principal responsable de la mayoría de los procesos de oxidación y corrosión que sufren estos materiales es el oxígeno, presente aproximadamente en una proporción del 21% de la atmosfera (Carreño, 2017 pág. 82).

Podemos distinguir dos formas de actuación:

- Oxidación de los materiales cuando el entorno es seco y cálido (Corrosión seca).
- Corrosión de los materiales cuando el entorno es húmedo (Corrosión húmeda) (Carreño, 2017 pág. 82).

La corrosión que se presenta en las tuberías de acero galvanizado es de tipo química, esto ocurre cuando la capa de galvanización se pierde alrededor de la tubería, pudiendo ser en el diámetro interior, como el exterior, a razón de esto comienza hacerse presenta la oxidación.

### **1.16.1 *Proceso de corrosión en tuberías de acero galvanizado***

El proceso de corrosión más frecuente y peligroso, tanto en fontanería como en conducción de fluidos que son las instalaciones en las que más hace su presencia, es el de la corrosión electroquímica, y más concretamente, la corrosión galvánica (Carreño, 2017 pág. 83).

Este fenómeno se produce al ponerse en contacto dos metales de diferente electronegatividad debido a la transferencia de iones entre ambos. Este proceso se ve acelerado si actúa un electrolito como el agua. Además, es necesario señalar que este efecto se ve incrementado si se trata de agua caliente (Carreño, 2017 pág. 83).

Existe un tipo de corrosión poco visible pero no menos grave, es la corrosión interior que se da principalmente en este tipo de tuberías. Esto se debe a múltiples factores relacionados con el alto

contenido de oxígeno en el agua o la gran velocidad del agua, lo que conlleva gran arrastre de materiales y la erosión del interior de la tubería (Carreño, 2017 pág. 84).

A consecuencia de esto, se puede dar el fenómeno de corrosión interior, que solo es visible si se desmonta la tubería y se inspecciona (Carreño, 2017 pág. 84).

La vida útil de las tuberías de acero galvanizado está relacionada directamente a 3 parámetros, siendo estos: la calidad del espesor, su correcta instalación y el medio agresivo al que se encuentra sometida.

La aparición de lluvias ácidas es un factor perjudicial para el zinc en la parte externa de la tubería, en tanto que para la parte interna la aparición del cloro en forma de ácido Hipocloroso (OHCl) es un factor que puede destruir las películas pasivas, dando lugar a la formación de corrosión por picadura.

#### **1.16.2 Factores de la corrosión y desgaste de tuberías en su zona interna**

Son 4 los factores que inciden el deterioro de las tuberías, los cuales son los siguientes:

**1. El agua y sus características.** Las medidas del agua que afectan a la vida útil de las tuberías son:

**1.1 Temperatura:** En el caso de zinc, cuando las temperaturas del agua son superiores a los 60°C.

**1.2 Acidez:** Presencia de lluvias ácidas en el exterior de la tubería.

**1.3 Incrustación de sustancias agresivas:** Además de la presencia de sales disueltas ( $\text{SO}_4$  y Cl), el agua puede llevar disueltos gases como el  $\text{O}_2$ . El oxígeno es necesario para que se dé la reacción catódica, por tanto, su ausencia evita la corrosión. Cuando se encuentra de forma heterogénea (burbujas de aire, zonas de sedimentos) favorece la corrosión por aireación diferencial.

**2. Entrada de aire en la instalación.** Cuando la conducción del fluido no cubre el 100% del diámetro interior de la tubería.

**3. Entrada de materiales sólidos.** Generan discontinuidades en la superficie que dan lugar a la formación de pilas por aireación de diferencial.

**4. Mala ejecución.** Son múltiples los fallos de ejecución que pueden acelerar la corrosión.

### **1.17 Agua Potable**

El agua potable es el líquido cuyas características físicas, químicas y microbiológicas han sido tratadas a fin de garantizar su aptitud para consumo humano. (INEN, 2014 pág. 1). Esto se logra gracias a un proceso de potabilización, para que así este tipo de agua no represente un riesgo para la salud del ser humano. El agua potable proviene de 2 tipos de fuentes que son:

- **Superficial:** Este tipo de fuente se encuentra en vertientes, ríos, lagunas y canales. Con lo cual este tipo de fuente está propensa a agentes contaminantes.
- **Subterránea:** Este tipo de fuente la encontramos en pozos de captación.

#### **1.17.1 Proceso de potabilización**

El agua que se obtiene de las fuentes superficiales o subterráneas, no puede ser consumida de manera directa por la población debido a las características físicas, químicas y microbiológicas que presenta, las cuales requieren ser tratadas con el fin de eliminar aquellas partículas o sustancias perjudiciales.

Este proceso está conformado por las siguientes etapas que son:

- **Captación:** Es un proceso que se hace a través de tomas de agua donde se encuentran lagunas, diques o ríos.
- **Sedimentación:** Es la separación de las partículas suspendidas en el agua a través del efecto de la gravedad, en donde el peso específico de estas es mayor que del agua.
- **Filtración:** Es el proceso que se aplica después de la sedimentación para retener agentes contaminantes en el agua.

- **Cloración:** Es el proceso de eliminación de agentes contaminantes en el agua a través de la aplicación del cloro.
- **Conducción:** Proceso que se hace a través de conductos, canales cerrados o tuberías comenzando por la captación hasta la sedimentación.

## **1.18 Almacenamiento y conducción**

### **1.18.1 Almacenamiento.**

Para la conservación y distribución de agua potable, comúnmente se utilizan tanques de mortero u hormigón armado, siendo los más usados los de tipo rectangular o cilíndrico.

Los tanques de almacenamiento son conocidos como tanques reservorios, ya que son los encargados de asegurar el abastecimiento de agua que requiere una parroquia en las horas de mayor consumo. Estos tanques almacenan el agua en las horas de menor consumo, y su tamaño depende del número de habitantes que tenga una comunidad, pueblo, parroquia, etc.

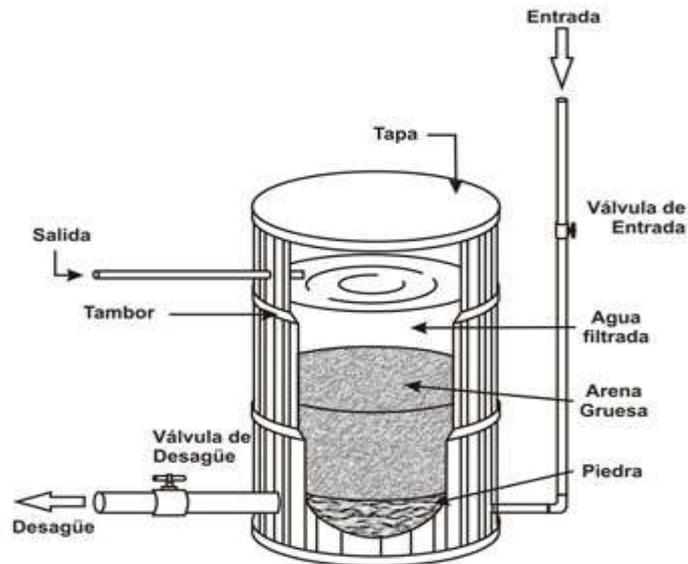
Con lo mencionado anteriormente, los tanques reservorios son útiles para cubrir las variaciones de consumo de agua en cualquier tiempo, conservar y compensar las presiones de red, para acumular una cantidad determinada de caudal de agua.

### **1.18.2 Ubicación de los tanques de almacenamiento**

Se ubican en los puntos más altos de las parroquias, comunidades o pueblos con el fin de garantizar la presión dinámica en las diferentes redes de distribución, además para no causar inconvenientes de ubicación en sectores privados de la población.

#### **1.18.2.1 Elementos de los tanques de almacenamiento**

En la siguiente figura se muestra los diferentes elementos que posee un tanque de almacenamiento, entre las cuales constan las tuberías de entrada, salida, desfogue, tubos de respiración o ventiladores, tapa del tanque, escaleras de acceso, tuberías de drenaje y by paz, las cuales se detallan a continuación.



**Figura 9-1:** Elementos de los tanques de almacenamiento  
Fuente: (comunidades)

- **Tuberías de entrada:** Son las que conducen el agua de captación que proviene de la fuente ya sea superficial o subterránea hacia el tanque reservorio.
- **Tapa del tanque:** La tapa o cubierta es la encargada de cubrir el tanque para evitar la incrustación de objetos sólidos externos del ambiente como por ejemplo hojas, piedras, etc.
- **Tapa o cubierta de inspección:** Es la que facilita el acceso al interior del tanque.
- **Escalera al acceso del tanque:** Se coloca dentro o fuera del tanque, con el propósito de acceder a realizar labores de limpieza.
- **Tubos de ventilación:** Son aquellos que permiten la incrustación de aire al tanque reservorio o de almacenamiento con el fin de evitar la sobrepresión en el mismo.
- **Tubería de desfogue:** Son las que se encuentran en la parte baja del tanque, al lado izquierdo o derecho, con el fin de que el agua salga cuando el tanque esté lleno o para limpiarlo.
- **Tubería de salida:** Son aquellas tuberías que se encargan de la distribución hacia las diferentes redes de alimentación.
- **Tubería de by- paz:** Es la que se conecta de manera directa entre la entrada y salida, sin pasar por el tanque, con el fin de no cortar el suministro de agua.

## **1.19 Medios de conducción**

### **1.19.1 Canales**

Son aquellos medios que se utilizan para transportar el agua desde la etapa de captación hasta la etapa de sedimentación por lo que solo llega hasta esta etapa debido a que el agua transportada tiende a estar muy contaminada.

### **1.19.2 Tuberías**

Son conductos cilíndricos de sección y longitud definida para el transporte de fluidos sólidos, líquidos o gaseosos a una presión establecida por lo que se facilita el transporte a largas distancias.

### **1.19.3 Tanqueros**

Son tanques cilíndricos hechos de acero inoxidable que sirven para el transporte de agua o de combustibles variando su capacidad de acuerdo al volumen, son de gran utilidad para el transporte de agua a grandes distancias.

## **1.20 Sistema de conducción del agua potable**

El fin u objetivo de la conducción de agua potable es abastecer del líquido vital a una determinada población. El sistema de conducción es cerrado, compuesta por tubos codos, tes, uniones, etc, instalados una a continuación de otra, a diferentes diámetros a lo extenso de su longitud.

Este fluido (agua potable) se transporta desde su almacenamiento por diferentes calzadas, vías, avenidas, cuadras o manzanas hasta llegar a las acometidas domiciliarias.

En la conducción se debe cumplir con tres aspectos fundamentales para el agua potable que son:

- **Calidad.** La calidad del agua es una condición en la que se verifica si cumple con las características físicas y químicas, como por ejemplo determinar el contenido de sales disueltas, presencia de agentes bacteriológicos o agentes contaminantes externos.
- **Cantidad.** Es un aspecto en donde se satisface con la demanda de caudal de agua para una determinada población.

- **Presión.** La presión es la fuerza que realiza un fluido sobre las superficies de un cuerpo que en el caso de las tuberías será las paredes del mismo.

Para el transporte de agua se requiere de una matriz (red principal) y de redes secundarias.

### **1.20.1 Red principal**

La matriz o red principal conduce el agua potable que se encuentra en los tanques de almacenamiento a las redes secundarias. También son las encargadas de mantener la presión de servicio para el buen funcionamiento del sistema.

### **1.20.2 Redes secundarias**

Son aquellas que provienen de la matriz o red principal y reparten el agua a los distintos domicilios, conectándose así a las instalaciones domiciliarias.

### **1.20.3 Tipos de red de distribución**

- **Ramificada:** Este tipo de red está compuesta por una tubería principal y una serie de derivaciones que terminan en puntos turbados o mallas. Este tipo de red se usa principalmente en calzadas y veredas.
- **Mallada:** Este tipo de red está estructurada por tuberías donde el agua se conduce a través de instalaciones cerradas, lo que establece un servicio más adecuado en presión y caudal.

## **1.21 Tipos de tubería**

Para la conducción de agua potable a través de tuberías se tiene diferentes tipos, las cuales son de acuerdo al material y tipo de unión que están hechas, las más utilizadas son:

### **1.21.1 Tipos de tubería de acuerdo al material**

- Poli cloruro de vinilo (PVC)
- Polietileno de alta densidad

- Hierro dúctil.
- Hormigón pre comprimido.
- Aceros.

### **1.21.2 Tipos de tubería de acuerdo al tipo de unión**

- De unión rígida: a presión simple o roscada.
- De unión flexible.

## **1.22 Tuberías de acero**

Los aceros son aleaciones de hierro – carbono forjable cuyo contenido de carbono está comprendido entre el 0.008 al 2,1%, por lo cual es uno de los materiales más versátiles y utilizados. Se puede obtener otros tipos de acero con otras aleaciones para mejorar sus propiedades físico – químicas.

Las tuberías de acero poseen una alta resistencia a la presión de trabajo, lo que las hace una de las tuberías más usadas en las instalaciones con gran caudal, además son caracterizadas por un parámetro muy importante que es la costura y su denominación está dada por su diámetro nominal en pulgadas o milímetros. La costura es la soldadura que se le aplica a este tipo de material al momento de ser enrollado para darle su forma tubular.

### **1.22.1 Tipos de tubería de acero**

Los tubos de acero se clasifican de la siguiente manera:

- **Hierro fundido:** Se utilizan en instalaciones empotrables para conducir gas, agua potable o residual y vapor de baja presión.
- **Acero al carbón:** Se utiliza en muchas aplicaciones donde se requiere el transporte de fluidos, incluyendo los abrasivos y corrosivos. Además, se utiliza en instalaciones domiciliarias para la conducción de gas y agua potable.

- **Otros tipos de acero:** Son utilizados para instalaciones donde se requiera una gran resistencia a la corrosión. Dentro de este grupo tenemos a los aceros inoxidable, aleados y galvanizados.

### **1.23 Tubería de acero galvanizado**

La corrosión es uno de los principales problemas para las tuberías de acero, lo cual hace que su vida útil se vea reducida.

Para lograr solucionar este problema se crearon las tuberías de acero galvanizado, las cuales se caracterizan por un recubrimiento o película de zinc en la parte superficial o interna de la tubería, con el fin de protegerla de la oxidación y corrosión, para así asegurar las propiedades del agua que circula por este tipo de tuberías. Es muy utilizada para instalaciones de agua potable, se fabrican generalmente en longitudes de 5 a 6 m para la mayoría de sus diámetros.

El galvanizado es un proceso electroquímico en el cual se cubre un material con otro, en la galvanización el proceso consiste en un recubrimiento de zinc sobre el acero a una temperatura de 450°C a través de un proceso de inmersión en caliente. El objetivo del galvanizado es evitar la corrosión y oxidación que se generan por la humedad y contaminación sobre el acero.

#### **1.23.1 Beneficios de la tubería de acero galvanizado**

Entre los principales beneficios tenemos los siguientes:

- **Mayor vida útil:** Su vida útil está prevista de 25 a 30 años, dependiendo al medio que está expuesta.
- **Costos de reparación mínimos:** Este tipo de tubería no requiere mayores costos de mantenimiento.
- **Recubrimiento de garantía:** El galvanizado en las tuberías asegura un recubrimiento tanto en la parte superficial, como en la parte interna de la tubería.
- **Económicamente baratas y reciclables.** Comparada con otros tipos de tuberías de diferentes materiales es muy económica, además luego de que haya cumplido con su vida útil puede utilizarse para procesos de reciclaje.

### 1.23.2 *Propiedades de las tuberías de acero galvanizado*

- Buen comportamiento en condiciones de enterrado.
- Alta resistencia a la presión interna.
- Resistencia a choques por manipulación e instalación.
- De fácil perforación y corte.
- Fácil transporte.
- Es soldable y maleable.
- Insustituible en instalaciones contra incendios debido a su alto punto de fusión.

**Tabla 3-1:** Características físicas y químicas del acero galvanizado

<b>Características físicas</b>	<b>Material: Acero galvanizado</b>
Resistencia a la tracción (kgf/cm <sup>2</sup> )	5000
Dureza (HB)	140
Presión máxima admisible (bar)	258/3741
Punto de fusión (°C)	1540
Temperatura máxima de trabajo (°C)	95
Presión máxima de trabajo continuo (bar/psi)	20/290
Alargamiento (%)	22
Esfuerzo mínimo de fluencia (Kgf/cm <sup>2</sup> )	3.241

Fuente: (instalaciones pág. 2)

### 1.24 **Tubería de plástico o polímeros**

Las tuberías más utilizadas para la conducción de agua potable son las de PVC (Poli cloruro de Vinilo), es un material plástico – sólido, se utilizan para instalaciones en su mayoría para instalaciones de acometidas domiciliarias, cuyo caudal y presión no son relativamente altos. Las tuberías de PVC no se emplean para el transporte de agua caliente porque esto puede ocasionar deformaciones en su estructura.

### **1.24.1 Tipos de tubería de pvc**

Las tuberías de PVC se dividen en 2 grupos, los cuales se identifican por el color, esto va a depender de la aplicación que se desea de las mismas, ya sea para instalaciones domiciliarias, o instalaciones de riego.

Las tuberías de PVC de acuerdo a su color de identificación se presentan de la siguiente manera:

- Hidráulico (color verde)
- Riego (color verde)

### **1.24.2 Beneficios de la tubería pvc**

- Peso liviano.
- Fácil instalación.
- Gran resistencia a ataques químicos.
- Poca rugosidad.
- Flexibilidad longitudinal y transversal.
- Elevada vida útil.

### **1.24.3 Propiedades**

- Mejor comportamiento al golpe de ariete.
- Alta resistencia a presiones internas de trabajo hasta no más de 25 bares.
- Químicamente estable.
- No se oxida ni se corroe.

- Material inerte e inofensivo para la conservación de las propiedades del agua potable.

**Tabla 4-1:** Características físicas y composición química de las tuberías de PVC

<b>Características físicas</b>	<b>Material: PVC</b>
Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	760
Resistencia a la tracción (Kg/cm <sup>2</sup> )	550
Fuerza de tensión (N/mm <sup>2</sup> )	2.60
Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	1.4
Coefficiente de dilatación térmica a 23°C (w/k-m)	0.08
Conductividad térmica (Kcal/ml°C)	0.13
Tensión admisible (Kg/cm <sup>2</sup> )	490– 600
Temperatura máxima (°C)	60-65

Fuente: (ELAPLAS)

### **1.25 Características dimensionales de la tubería de conducción agua según la norma ANSI/AWWA C150/A21.50-96**

La Asociación americana para trabajos de agua (AWWA) es una norma que se encarga del diseño de espesor de tuberías de hierro dúctil, esta norma describe requerimientos mínimos.

#### **1.25.1 Alcance**

Esta norma cubre el diseño de espesor de las tuberías de hierro dúctil que cumple con los requisitos ANSI/AWWA C151/A21 51, tubería de hierro dúctil, fundición centrífuga para agua (AWWA, 1996 pág. 1).

En esta norma se describe el procedimiento de diseño y de cómo realizar este proceso acerca del cálculo de espesor de requerido para una presión determinada.

#### **1.25.2 Procedimiento para el cálculo de espesor neto requerido**

Para el cálculo del espesor de las tuberías de hierro dúctil se utiliza la siguiente fórmula:

$$t_R = \frac{P_i * D}{2S} \quad (5)$$

Donde:

**t<sub>R</sub>**: espesor requerido en mm

**P<sub>i</sub>**: Presión interna de diseño, psi (kPa)= 2(P<sub>w</sub> + P<sub>s</sub>)

**P<sub>w</sub>**: Presión de trabajo, psi (kPa)

**P<sub>s</sub>**: Tolerancia de sobretensión, esta es igual a 100\* psi (689 kPa)

**D**: Diámetro exterior de la tubería.

**S**: Limite elástico mínimo en tensión, esto es igual a 42,000 psi (289,590 kPa).

\* (Si las presiones de sobretensión previstas son distintas a 100 psi (689 kPa) se debe usar la presión prevista real).

## 1.26 Espesores

El espesor de pared en las tuberías es la distancia que existe entre el diámetro interior con el diámetro exterior, esto variará según la SCH o cédula con que se fabrican las tuberías, siendo las más comunes las de 40 SCH y 80SCH, la cédula es el grosor o espesor de pared que soporta la presión a la que estará sometida la tubería, cabe recalcar que al variar la cedula varía el diámetro interno, mas no el diámetro externo.

A continuación, se presenta en la siguiente figura los espesores de pared de las tuberías que más se fabrican en el país para el caso del acero galvanizado según la norma ASTM A-53 para una SCH 40.

**Tabla 5-1:** Espesores de tuberías con cédula 40

<b>DIÁMETRO NOMINAL (in)</b>	<b>DIÁMETRO EXTERIOR (mm)</b>	<b>ESPESOR NOMINAL (mm)</b>
1/2	21,30	2,77
3/4	26,70	2,87
1	33,40	3,38
1 1/2	48,30	3,68
2	60,30	3,91
2 1/2	73,00	5,16
3	88,90	5,49
4	114,30	6,02
6	168,30	5,00
8	168,30	7,11

Fuente: (IMEL, 2013)

## 1.27 Diámetros

Los diámetros que se encuentran en las tuberías son 2, diámetro interno y externo, manteniéndose constante este último y el diámetro interior variará dependiendo de la cedula (SCH) que posea la

tubería, su unidad de medida es en pulgadas o milímetros, en el mercado las tuberías de acero galvanizado se encuentran a partir de ½ in o 50 mm con SCH de 40 tal como lo muestra la siguiente tabla.

**Tabla 6-1:** Diámetros de tubería con cédula 40

<b>DIAMETRO NOMINAL (in)</b>	<b>DIAMETRO EXTERIOR (mm)</b>
1/2	21,30
3/4	26,70
21	33,40
1 1/4	42,20
1 1/2	48,30
2	60,30
2 1/2	73,00
3	88,90
4	114,30
8	168,30

Fuente: (IMEL, 2013)

## 1.28 Materiales

Los tubos de acero galvanizado se fabrican con acero laminado en caliente según las normas AISI/SAE 1008, 1010, 1015, ASTM A-53, teniendo así la siguiente composición química para su recubrimiento como se muestra a continuación.

**Tabla 7-1:** Composición química de tuberías de acero galvanizado

<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA</b>	<b>GRADO A (%)</b>	<b>GRADO B (%)</b>
Carbono	0,25	0,30
Manganeso	0,95	1,20
Fosforo	0,050	0,05
Azufre	0,045	0,045

Fuente: (COLMENA)

### 1.28.1 Galvanización

Este proceso se realiza para tubos menores de 6m de longitud por inmersión en caliente según la norma ASTM A-53 en el cual se introduce un recubrimiento de zinc tanto en la parte interior como exterior de la tubería, en donde el peso será de 0,55 kg/m<sup>2</sup>.

## 1.29 Especificaciones de tuberías según norma ASTM A-53 con cédula 40

**Tabla 8-1:** Especificaciones de tuberías de acero galvanizado

CARACTERÍSTICAS	VALORES
Largo standard (m)	6
Acoples	Roscado Liso
Recubrimiento	Negro aceitado Galvanizado
Usos	Conducción de fluidos como gas, aire, agua, aceite, vapor a medias y altas presiones
Porcentaje de elongación (%)	20 en Grado A 26 en Grado B

Fuente: (COLMENA)

En la siguiente figura se muestra el marcaje de una tubería de acero galvanizado roscado, en la cual se observa el nombre del fabricante, longitud total de tubería en pulgadas (in) o metros (m), tipo de producto y la norma del producto.



**Figura 10-1:** Marcaje de tubería de acero galvanizado

Fuente: (argentinos)

Adicionalmente se puede mencionar el peso y la presión de prueba para cada una de las tuberías con sus respectivos diámetros, tal como se indica en la siguiente figura.

**Tabla 9-1:** Peso y presión de prueba de tuberías con cédula 40

DIÁMETRO NOMINAL (in)	DIÁMETRO EXTERIOR (mm)	ESPESOR NOMINAL (mm)	PESO TEÓRICO (Kg/m)	PRESIÓN DE PRUEBA (Kg/cm)	
				GRADO A	GRADO B
1/2	21,30	2,77	1,27	49,2	49,2
3/4	26,70	2,87	1,69	49,2	49,2
1	33,40	3,38	2,5	49,2	49,2
1 1/4	42,20	3,56	3,39	70,3	77,4
1 1/2	48,30	3,68	4,05	70,3	77,4
2	60,30	3,91	5,44	161,7	175,8
2 1/2	73,00	5,16	8,63	175,8	175,8
3	88,90	5,49	11,29	154,7	175,8
4	114,30	6,02	16,07	134	154,7
6	168,30	5,00	24,14	75,2	87,9
8	168,30	7,11	28,26	105,5	128,5

Fuente: (IMEL, 2013)

## CAPÍTULO II

### **2.1 Diseño Metodológico**

#### **2.1.1 *Tipo de investigación***

Según a la metodología implementada, la investigación que se realiza es de tipo explicativa, según la definición de esta última se tiene lo siguiente: la investigación explicativa se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto (Arias, 2012 pág. 26).

Según lo mencionado anteriormente se considera que la investigación que se realiza es explicativa; ya que el estudio se fundamenta en el establecimiento de relaciones entre variables; está dirigido a determinar las causas, y factores que inciden en las tuberías de los tanques de almacenamiento, además que su interés se centra en explicar por qué ocurre el efecto y en qué condiciones se da el desgaste de las tuberías de acero galvanizado.

#### **2.1.2 *Diseño de la investigación***

El diseño de investigación es una táctica que se aplica para dar solución al planteamiento del problema, para este trabajo de investigación se siguen algunas etapas de la potabilización de agua que permiten incluir el sistema de tuberías de acero galvanizado, en cada uno de los tanques de hormigón, sin intervenir en su operación o modificar algún parámetro.

Para el caso de esta investigación, el diseño es de campo, puesto que los datos de muestra proceden de manera directa de datos reales donde ocurren los hechos y la información recogida se obtiene en un entorno natural en la que no hubo manipulación o control de ninguna variable.

También esta investigación se considera no experimental en razón a que no se hace variar de manera intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras, lo que se hace es observar el fenómeno del desgaste que se da en el interior de las tuberías de acero galvanizado, tal como se da en su contexto operacional, para después analizar los datos obtenidos.

### **2.1.3    *Unidades de análisis***

La unidad de análisis se refiere sobre que o quienes se van a recolectar los datos, esto depende del enfoque elegido para la investigación, del problema a investigar y del alcance de este trabajo. Para el caso de esta investigación la toma de datos lo hace la persona a cargo del desarrollo del presente trabajo investigativo en la cual toma como base la medición y la recolección de información.

### **2.1.4    *Población***

La población es un grupo de elementos, fenómenos u objetos que tienen en común una o varias características, las cuales se someten a un posterior análisis riguroso para la obtención de resultados.

La investigación se basa en el estudio del desgaste de las tuberías de acero galvanizado de los tanques de almacenamiento del GAD parroquial de Licán, en lo cual establece el número de tanques de hormigón con que cuenta esta parroquia para el suministro de agua potable, con lo cual se toman 35 tuberías las cuales se encuentran divididas en los 9 tanques, siendo estas utilizadas como tuberías de entrada, salida y desfogue, estas 35 tuberías se utilizan para la medición de espesores a través del método de ultrasonido. Una vez obtenido los resultados se establece el tipo clase que estas pertenecen según la norma API 570, con lo cual se determina las próximas inspecciones que se realizarán posteriormente. Se tomó de toda la población muestras provenientes de los puntos más críticos obtenidos con las mediciones de espesores.

### **2.1.5    *Muestra***

La muestra se la define como subconjunto representativo de un universo o población (Guádia, y otros, 2005 pág. 11).

Para la toma de las muestras se procede a evaluar la velocidad del desgaste que ocurre en el interior de las tuberías, esto se logra con un indicador que nos proporciona la norma API 570 el cual es la tasa de desgaste que se mide en mm/año. Se toma de toda la población las muestras que se obtienen de los espesores más bajos en cada una de las tuberías.

## 2.2 Matriz de involucrados

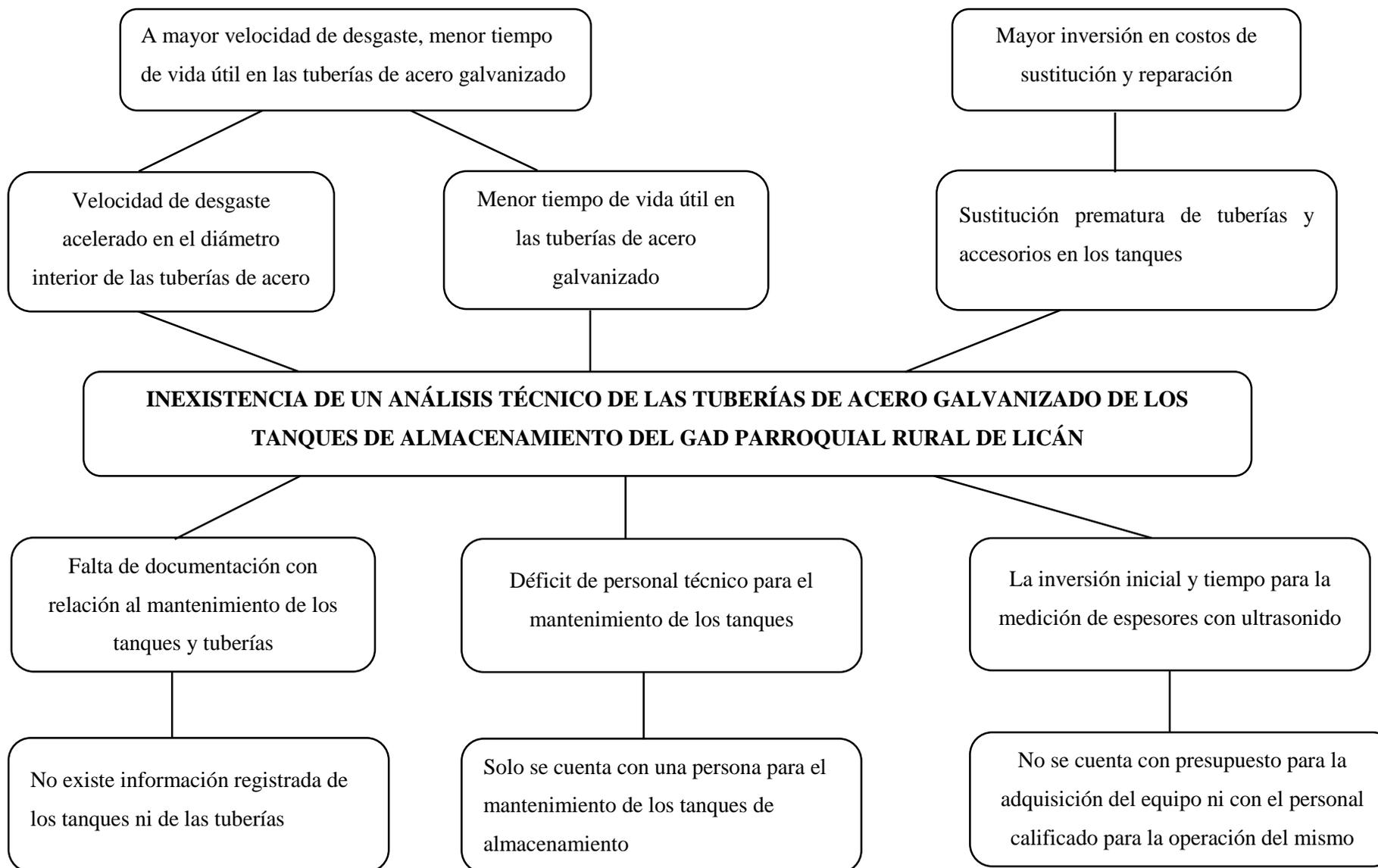
Tabla 1-2: Matriz de involucrados.

	<b>GRUPOS</b>	<b>INTERESES</b>	<b>PROBLEMAS PERCIBIDOS</b>	<b>MANDATOS Y RECURSOS</b>
<b>BENEFICIARIOS</b>	Habitantes de la parroquia de Licán, ubicado en el cantón Riobamba, provincia de Chimborazo	Solucionar la problemática de la falta de abastecimiento de energía eléctrica de forma continua para este sector	Falta de un servicio básico como lo es de la electricidad	Ninguno
<b>LOS QUE EJECUTAN</b>	Estudiante de la ESPOCH, Facultad de mecánica, de la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento.	Promover los beneficios del análisis técnico en los sistemas de tuberías de agua potable	Pocos conocimientos de los beneficios del mantenimiento predictivo mediante la ampliación de ensayos no destructivos	<b>RECURSOS HUMANOS:</b> para la medición de espesores en las tuberías. <b>RECURSOS MATERIALES:</b> para la medición de espesores Benetech GM130 para el análisis y toma de datos
<b>LOS QUE TOMAN DECISIONES</b>	Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) parroquial rural de Lican	Conocer los factores que inciden en el desgaste prematuro de las tuberías	no existe un análisis técnico de las tuberías de acero galvanizado de los tanques de almacenamiento	<b>RECURSOS HUMANOS:</b> para poder demostrar la necesidad y los beneficios que ofrece este trabajo
<b>LOS QUE FINANCIAN</b>	Estudiante de la ESPOCH, Facultad de mecánica, de la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento.	Calcular el desgaste y vida útil de cada una de las tuberías de acero galvanizado que se encuentran instaladas en los tanques de almacenamiento	Aumento del desgaste en las tuberías por falta de filtración y sedimentación en el proceso de potabilización	<b>RECURSOS ECONÓMICOS:</b> para la adquisición del equipo de medición de espesores

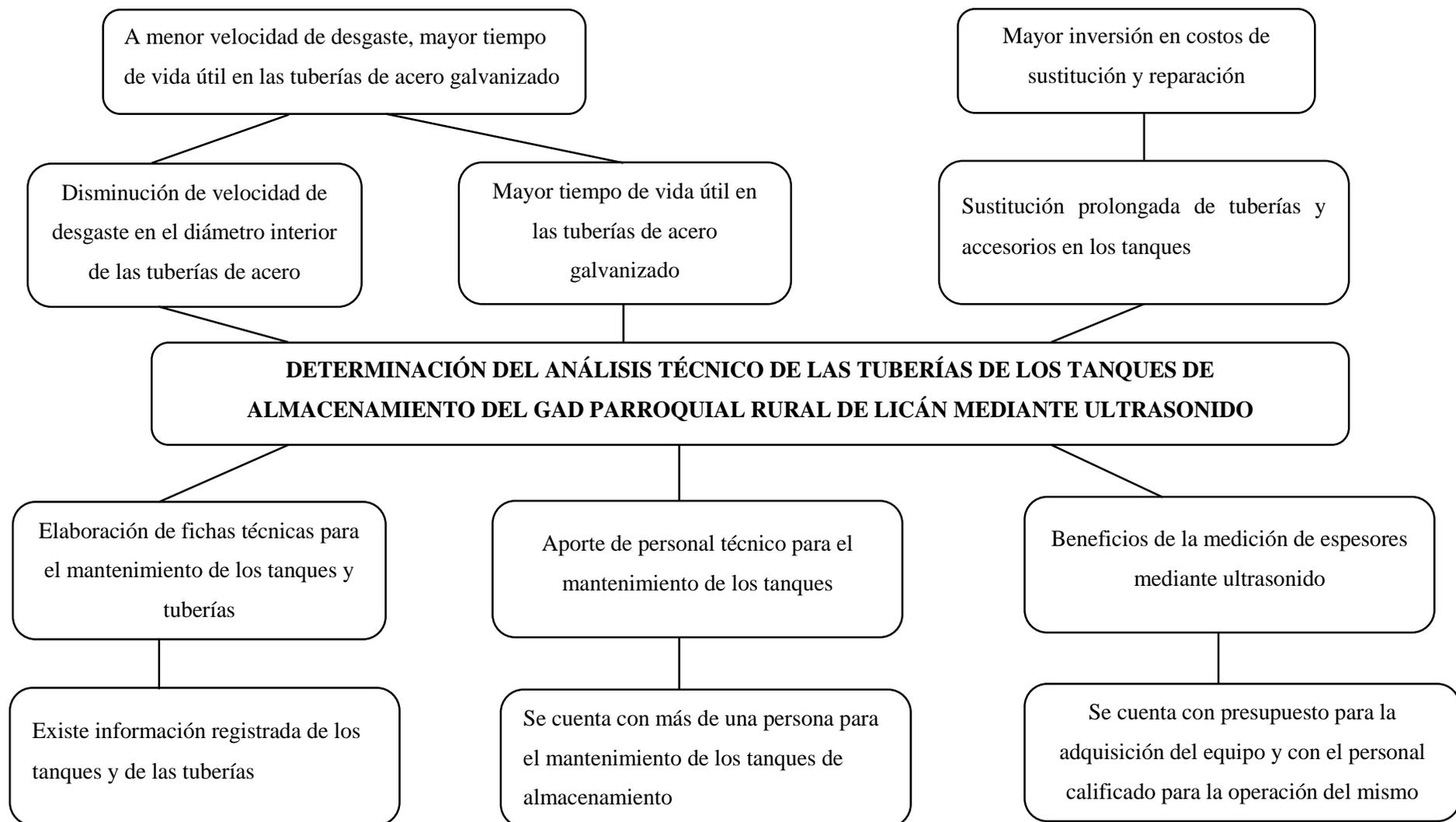
Realizado por: Guaylla, J; 2019

## 2.3 Árbol de problemas

El árbol de problemas se lo hace con el fin de tener clara la situación del problema planteado, con esta herramienta conseguiremos representar la situación de la problemática, ubicando las causas en las raíces, el problema central en el tronco y los efectos se ubican en las hojas, tal como se detalla a continuación.



## 2.4 Árbol de objetivos



## 2.5 Matriz de marco lógico

La matriz es el resultado de la metodología, es decir que está conformada por una serie de pasos, las cuales se detallan a continuación.

**Tabla 2-2:** Matriz de marco lógico.

NIVEL	NOMBRE DEL INDICADOR	INDICADOR DEFINIDO	QUIÉN	DÓNDE	CUÁNTO	CÓMO	CUANDO
<b>FIN</b>	Reducción de la velocidad de desgaste en las tuberías	En el año 1 de la ejecución del proyecto la velocidad de desgaste debe ser de 12%	Habitantes del GAD parroquial de Licán	Barrios de Licán	Igual o menor que el 12%	Reduciendo la velocidad de desgaste comparando con el año 1 de la ejecución de este proyecto	1er año después de la ejecución de este proyecto
	Aumento de la vida útil en las tuberías.	A partir de la ejecución de este proyecto disminuir los gastos para producir electricidad de forma continua	GAD parroquial rural de Licán	Barrios de Licán	Igual o menor que el 20%	Reduciendo gastos de sustitución de tuberías	En el año 1 de la ejecución del proyecto
	Reducción de costos de sustitución y reparación de tuberías.	En el año 1 de la ejecución del proyecto reducir la emisión de gases contaminantes para la generación de electricidad a un 20%	GAD parroquial rural de Licán	Barrios de Licán	Igual o menor que el 20%	Minimizando los factores que inciden en la velocidad de desgaste en las tuberías	1er año después de la ejecución de este proyecto
<b>PROPÓSITO</b>	Determinación del estado técnico de las tuberías de los tanques de almacenamiento de agua potable	Determinar el estado técnico de las tuberías de los tanques de almacenamiento de agua potable	GAD parroquial rural de Licán	Barrios de Licán	Igual o mayor que el 90%	Determinación de los parámetros para el análisis técnico de las tuberías de los tanques	En el año 1 de la ejecución de este proyecto
	Medición de espesores de las tuberías de alimentación y distribución mediante ultrasonido	En el año 1 medir los espesores de las tuberías de acero galvanizado mediante ultrasonido	GAD parroquial rural de Licán	Barrios de Licán	Igual que el 100%	Realizar la medición de espesores mediante ultrasonido en todas las tuberías de acero galvanizado a partir del año 1	En el año 1 de la ejecución de este proyecto

**Tabla 2-2 (Continúa): Matriz de marco lógico**

<b>COMPONENTES</b>	Levantamiento de inventario técnico para los tanques de almacenamiento.	Tener el 100% de la elaboración de fichas técnicas para las tuberías de los tanques de almacenamiento	Técnico	Barrios de Licán	Igual que el 100%	Tener el 100% de elaboración de fichas técnicas a partir del año 1	En el año 1 de la ejecución de este proyecto
	Programa de capacitación para la ejecución y evaluación del mantenimiento predictivo empleando ensayos no destructivos.	Tener el 100% de ejecución en las capacitaciones en conocimientos técnicos del uso de ensayos no destructivos	Técnico	Barrios de Licán	Igual que el 100%	Tener el 100% de ejecución en las capacitaciones a partir del año 1	En el año 1 de la ejecución de este proyecto
	Investigar los factores que aceleran la velocidad de desgaste en este tipo de tuberías	Investigar en un 100% los factores que afectan en el interior de este tipo de tuberías	Técnico	Barrios de Licán	Igual que el 100%	Tener el 100% de conocimientos en los factores que afectan en la pérdida de material en el interior de las tuberías	En el año 1 de la ejecución de este proyecto

Realizado por: Guaylla, J; 2019

## 2.6 Análisis de alternativas.

- **Capacitación al personal técnico acerca del mantenimiento predictivo mediante ultrasonido**

1. Capacitación al personal técnico en la aplicación de ensayos no destructivos.
2. Elaboración de un plan de mantenimiento para los tanques de almacenamiento y tuberías.
3. Evaluación de resultados durante y después de la capacitación.

- **Interés por parte de las autoridades del GAD parroquial rural de Licán para el financiamiento de este tipo de ensayo**

1. Definir la ubicación de los tanques de almacenamiento.
2. Establecer beneficios económicos al aplicar ensayos no destructivos

- **Mayor énfasis en los grandes beneficios económicos que el método de ultrasonido puede brindar para detectar fallos potenciales**

1. Reducción de costos de costos de mantenimiento para las tuberías de acero galvanizado.
2. Demostrar los grandes beneficios de la implantación de este tipo de ensayo no destructivo en términos económicos.
3. Determinación de costos económicos que se pueden evitar.

## 2.7 Resumen narrativo

**Tabla 3-2:** Recursos del resumen narrativo

<b>FINES</b>
Reducción de la velocidad de desgaste en las tuberías
Aumento de la vida útil en las tuberías.
Reducción de costos de sustitución y reparación de tuberías.
<b>PROPÓSITO</b>
Determinar el estado técnico de las tuberías de los tanques de almacenamiento de agua potable, a través de ensayos no destructivos empleando ultrasonido.
<b>COMPONENTES</b>
Levantamiento de inventario técnico para los tanques de almacenamiento
Programa de capacitación para la ejecución y evaluación del mantenimiento predictivo empleando ensayos no destructivos.
Medición de espesores mediante ultrasonido.
<b>ACTIVIDADES</b>
Preparar capacitación (lugar, fecha, asistentes, expositores, etc).
Capacitar al personal en conocimientos de los ensayos no destructivos mediante ultrasonido.
Evaluar la capacitación a través de resultados.
Detectar necesidades en el personal a capacitar.
Determinar el estado técnico de las tuberías de acero galvanizado.
Realizar la medición de espesores con el equipo de ultrasonido Benetech GM130.
Definir la ubicación y el número de tanques y tuberías a inspeccionar.
Elaborar fichas técnicas de los tanques de almacenamiento.
Analizar e interpretar los datos mediante un tratamiento estadístico.
Calcular la velocidad de desgaste y vida útil de las tuberías.
Determinar los factores que aceleran el desgaste de este tipo de tuberías.
Determinar las próximas inspecciones.

Realizado por: Guaylla, J; 2019

## CAPÍTULO III

### 3.1 Resultados

#### 3.1.1 *Levantamiento de inventario técnico*

El inventario técnico se ha desarrollado como un registro de las características técnicas de los tanques de almacenamiento de agua potable. La información recolectada a través de este inventario, constituye un instrumento de amplia utilidad para:

- Conocer la cantidad, tipo, características técnicas y ubicación con que cuenta esta parroquia.
- Conocer la superficie, estado y funcionalidad de los tanques de almacenamiento de agua potable.
- Establecer el estado actual de funcionamiento de las tuberías de entrada y salida de cada uno de estos tanques.

Para la realización de este inventario se han diseñado fichas técnicas que incluyen datos que han sido proporcionados por el técnico a cargo de estas instalaciones, siendo de gran importancia registrar cada uno de estos datos, es así que a continuación en la tabla 1-3 mostramos el número de tanques de almacenamiento con que cuenta la parroquia de Licán.

**Tabla. 1-3:** Tanques de almacenamiento

NÚMERO DE TANQUE	DENOMINACIÓN
01	Tanque de almacenamiento de agua potable, Barrio La Florida
02	Tanque de almacenamiento de agua potable, Barrio La Florida
03	Tanque de almacenamiento de agua potable, Barrio La Florida
04	Tanque de almacenamiento de agua potable, Barrio Corona Real
05	Tanque de almacenamiento de agua potable, Barrio Corona Real

**Tabla. (Continúa):** Tanques de almacenamiento

06	Tanque de almacenamiento de agua potable, Barrio Liribamba
07	Tanque de almacenamiento de agua potable, Barrio Nueva Esperanza
08	Tanque de almacenamiento de agua potable, Barrio San Francisco de Macají
09	Cisterna de salida de la bomba de succión, Barrio Cunduana

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De acuerdo a la tabla 1-3 tenemos 9 tanques de almacenamiento, los cuales serán de tipo rectangulares y cilíndricos.

### 3.1.2 Codificación de tanques

La codificación de los tanques se lo hace con el fin de identificar de manera concreta su ubicación, saber el tipo de tanque al que pertenezca sea rectangular o cilíndrico, este código es de tipo alfanumérico representado por 3 letras mayúsculas y 2 dígitos.

**Tabla. 2-3:** Codificación de tanques

NÚMERO DE TANQUE	DENOMINACIÓN (UBICACIÓN)	TIPO DE TANQUE	CÓDIGO
1	Tanque de almacenamiento de agua (Barrio la Florida)	rectangular	TKR01
2	Tanque de almacenamiento de agua (Barrio la Florida)	cilíndrico vertical	TKC02
3	Tanque de almacenamiento de agua (Barrio la Florida)	cilíndrico vertical	TKC03
4	Tanque de almacenamiento de agua (Barrio Corona Real)	cilíndrico vertical	TKC04
5	Tanque de almacenamiento de agua (Barrio Corona Real)	cilíndrico vertical	TKC05
6	Tanque de almacenamiento de agua (Barrio Liribamba)	rectangular	TKR06
7	Tanque de almacenamiento de agua (Barrio Nueva Esperanza)	cilíndrico vertical	TKC07
8	Tanque de almacenamiento de agua (San Francisco de Macají)	cilíndrico vertical	TKC08
9	Tanque de la bomba de succión para el tanque N.º 4 (Barrio Cunduana)	rectangular	TKR09

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla 2-3 se da a conocer el código con el cual se identifican cada uno de los tanques que son objeto de estudio, las letras TK indican el tanque de almacenamiento, la tercera letra indica el tipo de tanque y los 2 dígitos siguientes indican en número de tanque.

### 3.1.3 *Ficha técnica de Tanques rectangulares*

A continuación, se muestra los tanques rectangulares que son objeto de estudio, siendo en total 3. Estos presentan tanto en su entrada y salida tuberías de acero galvanizado, se detalla en la tabla 3-3 los datos obtenidos y proporcionados por el GAD parroquial de Licán.

**Tabla. 3-3:** Tanques rectangulares

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE MECÁNICA - ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO									
NÚMERO DE TANQUE	PROCESO	AÑO DE INSTALACIÓN	DIMENSIONES (m)			TIPO DE MATERIAL	LONGITUD DE TUBERÍAS (m)		LONGITUD TOTAL DE TUBERÍAS DE ENTRADA Y SALIDA (m)
			BASE	ANCHO	ALTURA		TUBERIA DE ENTRADA	TUBERIA DE SALIDA	
01	Almacenamiento de agua potable	2007	6,61	1,20	2,06	hormigón	5,6	26,6	32,2
06	Almacenamiento de agua potable	2007	3,59	5,54	1,17	hormigón	1,8	0	1,8
09	Cisterna de la bomba de succión.	2007	1,5	1,50	2,5	hormigón	0	2,8	2,8
<b>TOTAL</b>									<b>36,8</b>

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De los 3 tanques se tiene un total de 36,8 m de tubería que son objeto de estudio.

### 3.1.4 *Ficha técnica de tanques cilíndricos*

A continuación, se muestra los tanques cilíndricos que son objeto de estudio, siendo en total 6. Estos presentan tanto en su entrada, salida y desfogue tuberías de acero galvanizado, se detalla en la tabla 4-3 los datos obtenidos y proporcionados por el GAD parroquial de Licán.

**Tabla. 4-3:** Tanques cilíndricos

NUMERO DE TANQUE	PROCESO	AÑO DE INSTALACIÓN	DIMENSIONES (m)			TIPO DE MATERIAL	LONGITUD DE TUBERÍAS (m)			LONGITUD TOTAL DE TUBERÍAS DE ENTRADA, SALIDA Y DESFOGUE (m)
			DIÁMETRO	RADIO	ALTURA		TUBERÍA DE ENTRADA	TUBERÍA DE SALIDA	DESFOGUE	
02	Almacenamiento de agua potable	2007	5,5	2,75	2,38	hormigón	2,4	13,11	3	18,51
03	Almacenamiento de agua potable	2007	5,5	2,75	2,38	hormigón	2,4	3,6	3	9
04	Almacenamiento de agua potable	2007	6,1	3,05	2,06	hormigón	1,8	2,6	1	5,4
05	Almacenamiento de agua potable	2007	9,9	4,95	2,26	hormigón	2,6	0,6	0	3,2
07	Almacenamiento de agua potable	2007	5,4	2,70	2,2	hormigón	2	2	0,6	4,6
08	Almacenamiento de agua potable	2007	6	3,00	2,36	hormigón	0	1,2	1	2,2
<b>TOTAL</b>										<b>42,91</b>

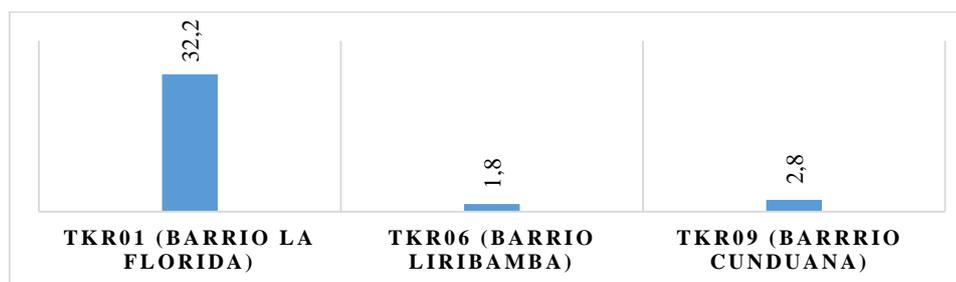
Realizado por: Guaylla, J; 2019

De los 6 tanques se tiene un total de 42,91 m de tubería que son objeto de estudio.

En las tablas 3-3 y 4-3, se puede resaltar el año de instalación del tanque con sus respectivas entradas y salidas de tuberías de acero galvanizado, además se obtiene un valor total de longitud de las tuberías de entrada y salida, tanto de los tanques rectangulares como los cilíndricos que son objeto del análisis mediante el método de ultrasonido; el valor total de longitud que se analiza es de 79.71 m.

### 3.1.5 Longitud total de tubería a ser analizada

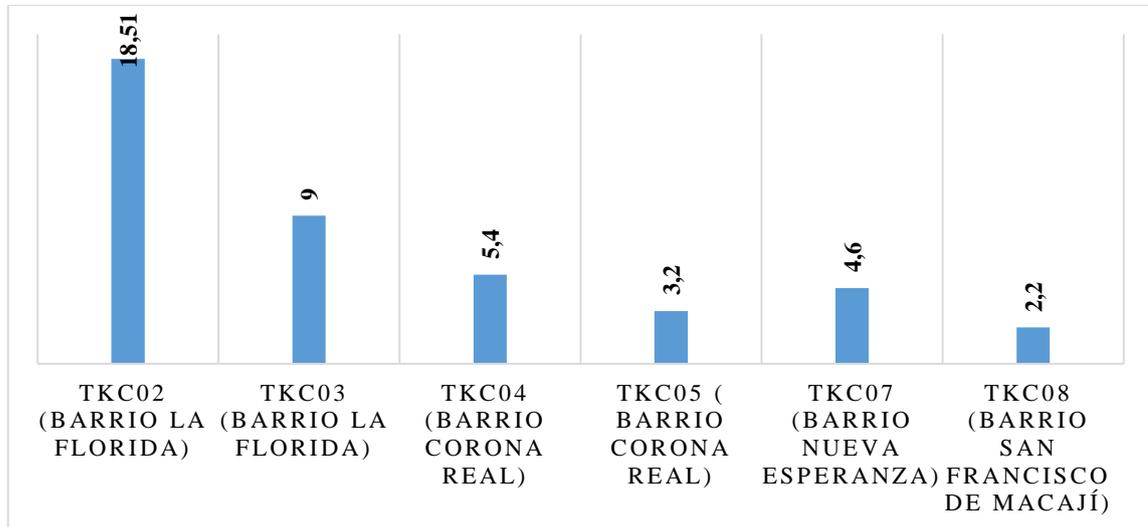
A continuación, se presenta mediante un gráfico la longitud total de la tubería inspeccionada de los tanques rectangulares y cilíndricos.



**Gráfico 1-3:** Longitud de total de tubería analizada de tanques rectangulares

Realizado por: Guaylla, J; 2019

El gráfico 1-3 muestra que en el TKR01 tiene una longitud de 32,2 m de tubería que se analiza, razón por la cual se dedica más tiempo para el análisis de la misma a través del método de ultrasonido ya que se obtiene más puntos de medición a diferencia de la longitud de tubería de los tanques TKR06 y TKR09 las cuales son de 1,8 m y 2,8 m respectivamente.



**Gráfico 2-3:** Longitud de total de tubería analizada de tanques cilíndricos

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En el gráfico anterior se indica los valores de longitud de tubería de los tanques cilíndricos que son objeto de estudio, con lo cual se tiene que el TKC02 cuenta con una longitud de 18,51 m, por esta razón se dedica más tiempo para el análisis de esta a través del método de ultrasonido, el resto de tanques tienen una longitud menor a diferencia del TKC02 por lo cual no se tendrán demasiados puntos de medición de espesores para las tuberías.

### 3.1.6 *Fichas técnicas de tuberías de entrada y salida*

#### 3.1.6.1 *Ficha técnica de tuberías de entrada y salida del TKR01*

En el tanque rectangular TKR01 ubicado en el barrio La Florida se tiene los siguientes datos de las tuberías de entrada y salida, tal y como se muestra en la tabla 5-3.

**Tabla. 5-3:** Tuberías de entrada y salida del TKR01

ÍTEM	ENTRADA	SALIDA	DIÁMETRO (mm)	DIÁMETRO (in)	CANTIDAD DE RAMALES	LONGITUD (m)
1	entrada		75	3	1	2,8
2	entrada		100	4	1	2,8

**Tabla 5-3 (Continúa):** Tuberías de entrada y salida del TKR01

3	salida	50	2	6	23,6
4	salida	100	2	1	3
<b>TOTAL</b>					<b>32,2</b>

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior según los datos de este tanque se tiene 2 tuberías de entrada, una es de 75 mm (3 in) de diámetro y la otra de 100 mm (4 in), su longitud es de 2,8m en cada una de estas, se tiene también 2 salidas, una de 50 mm (2 in) de diámetro con 6 ramales y una longitud de 23,6 m y otra de 100mm (4 in) de diámetro con un solo ramal de 3m de longitud.

La longitud total de entradas y salidas que se analiza es de 32,2 m.

### 3.1.6.2 Ficha técnica de tuberías de entrada, salida y desfogue del TKC02

En el tanque cilíndrico TKC02 ubicado en el barrio La Florida se tiene los siguientes datos de las tuberías de entrada, salida y desfogue, tal y como se muestra en la tabla 3-7 que se muestra a continuación.

De la tabla 6-3 según los datos de este tanque se tiene una tubería de entrada de 100 mm (4 in), con una longitud de 2,4 m, se tiene también 2 tuberías de salida, una de 50 mm (2 in) de diámetro con 2 ramales y una longitud de 3,6 m y otra es de 200mm (8 in) de diámetro con un solo ramal de 8 m de longitud y también se tiene una tubería de desfogue de 100 mm (4 in) de diámetro, con una longitud de 3m.

**Tabla. 6-3:** Tuberías de entrada y salida del TKC02

ÍTEM	ENTRADA	SALIDA	DESFOGUE	DIÁMETRO (mm)	DIÁMETRO (in)	CANTIDAD DE RAMALES	LONGITUD (m)
1	entrada			100	4	1	2,4
2	salida			50	2	4	3,6
3	salida			200	8	1	8
4	desfogue			100	4	1	3
<b>TOTAL</b>							<b>17</b>

Realizado por: Guaylla, J; 2019

La longitud total de entradas y salidas que se analiza es de 17 m.

### 3.1.6.3 Ficha técnica de tuberías de entrada, salida y desfogue del TKC03

En el tanque cilíndrico TKC03 ubicado en el barrio La Florida se tiene los siguientes datos de las tuberías de entrada y salida, tal y como se muestra en la tabla 7-3.

**Tabla. 7-3:** Tuberías de entrada y salida del TKC03

ÍTEM	ENTRADA	SALIDA	DESFOGUE	DIÁMETRO (mm)	DIÁMETRO (in)	CANTIDAD DE RAMALES	LONGITUD (m)
1	entrada			100	4	1	2,4
2	salida			50	2	4	3,6
3	desfogue			100	4	1	3
<b>TOTAL</b>							<b>9</b>

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la tabla anterior según los datos de este tanque se tiene una tubería de entrada de 100 mm (4 in), con una longitud de 2,4 m, una tubería de salida de 50 mm (2 in) de diámetro con una longitud de 3,6 m y una tubería de desfogue de 100 mm (4 in) de diámetro, con una longitud de 3 m.

La longitud total de entradas y salidas que se analiza es de 9 m.

#### 3.1.6.4 Ficha técnica de tuberías de entrada, salida y desfogue del TKC04

En el tanque cilíndrico TKC04 ubicado en el barrio Corona Real se tiene los siguientes datos de las tuberías de entrada y salida, tal y como se muestra en la tabla 8-3.

**Tabla. 8-3:** Tuberías de entrada y salida del TKC04

ÍTEM	ENTRADA	SALIDA	DESFOGUE	DIÁMETRO (mm)	DIÁMETRO (in)	CANTIDAD DE RAMALES	LONGITUD (m)
1	entrada			75	3	1	1,8
2	salida			75	3	1	2,6
3	desfogue			50	2	1	1
<b>TOTAL</b>							<b>5,4</b>

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la tabla anterior según los datos de este tanque se tiene una tubería de entrada de 75 mm (3 in), con una longitud de 1,8 m, una tubería de salida de 75 mm (3 in) de diámetro con una longitud de 2,6 m y una tubería de desfogue de 50 mm (2 in) de diámetro, con una longitud de 1 m.

La longitud total de entradas y salidas que se analiza es de 5,4 m.

### 3.1.6.5 Ficha técnica de tuberías de entrada, salida y desfogue del TKC05

En el tanque cilíndrico TKC05 ubicado en el barrio Corona Real se tiene los siguientes datos de las tuberías de entrada y salida, tal y como se muestra en la tabla 9-3.

**Tabla. 9-3:** Tuberías de entrada y salida del TKC05

ÍTEM	ENTRADA	SALIDA	DESFOGUE	DIÁMETRO (mm)	DIÁMETRO (in)	CANTIDAD DE RAMALES	LONGITUD (m)
1	entrada			75	3	1	2,6
2	salida			75	3	1	0,6
<b>TOTAL</b>							<b>3,2</b>

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la tabla anterior según los datos de este tanque se tiene una tubería de entrada de 75 mm (3 in), con una longitud de 2,6 m y una tubería de salida de 75 mm (3 in) de diámetro con una longitud de 0,6 m.

La longitud total de entradas y salidas que se analiza es de 3,2 m.

### 3.1.6.6 Ficha técnica de tuberías de entrada y salida del tanque TKR06

En el tanque cilíndrico TK06 ubicado en el barrio Liribamba se tiene los siguientes datos de las tuberías de entrada, salida y desfogue, tal y como se muestra en la tabla 10-3.

**Tabla. 10-3:** Tuberías de entrada y salida del TKR06

ÍTEM	ENTRADA	SALIDA	DESFOGUE	DIÁMETRO (mm)	DIÁMETRO (in)	CANTIDAD DE RAMALES	LONGITUD (m)
1	entrada			50	2	1	1,8
<b>TOTAL</b>							<b>1,8</b>

Realizado por: Autores 2019

De la tabla anterior según los datos de este tanque se tiene una tubería de entrada de 75 mm (3 in), con una longitud de 1,8 m.

La longitud total de entradas y salidas que se analiza es de 1,8 m.

### 3.1.6.7 Ficha técnica de tuberías de entrada, salida y desfogue del tanque TKC07

En el tanque cilíndrico TK07 ubicado en el barrio Corona Real se tiene los siguientes datos de las tuberías de entrada, salida y desfogue tal y como se muestra en la tabla 11-3.

**Tabla. 11-3:** Ficha técnica de tuberías de entrada y salida del TKC07

ÍTEM	ENTRADA	SALIDA	DESFOGUE	DIÁMETRO (mm)	DIÁMETRO (in)	CANTIDAD DE RAMALES	LONGITUD (m)
1	entrada			50	2	1	2
2	salida			50	2	2	2
3	desfogue			50	2	1	0,6
<b>TOTAL</b>							<b>4,6</b>

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la tabla anterior según los datos de este tanque se tiene una tubería de entrada de 50 mm (2 in), con una longitud de 2 m, una tubería de salida de 50 mm (2 in) de diámetro con una longitud de 2 m y una tubería de desfogue de 50 mm (2 in) de diámetro, con una longitud de 0,6 m.

La longitud total de entradas y salidas que se analiza es de 4,6 m.

### 3.1.6.8 Ficha técnica de tuberías de salida y desfogue del TKC08

En el tanque cilíndrico TKC08 ubicado en el barrio Corona Real se tiene los siguientes datos de las tuberías de entrada y salida, tal y como se muestra en la tabla 12-3.

**Tabla. 12-3:** Tuberías de entrada y salida del TKC08

ÍTEM	ENTRADA	SALIDA	DESFOGUE	DIÁMETRO (mm)	DIÁMETRO (in)	CANTIDAD DE RAMALES	LONGITUD (m)
1	salida			50	2	1	1,2
2	desfogue			50	2	1	1
<b>TOTAL</b>							<b>2,2</b>

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la tabla anterior según los datos de este tanque se tiene una tubería de salida de 50 mm (2 in) de diámetro con una longitud de 1,2 m y una tubería de desfogue de 50 mm (2 in) de diámetro, con una longitud de 1 m.

La longitud total de entradas y salidas que se analiza es de 2,2 m.

### 3.1.6.9 Ficha técnica de tubería de salida del TKR09

En esta cisterna ubicada en el barrio Cunduana se tiene los siguientes datos de la tubería salida, tal y como se muestra en la tabla 13-3.

**Tabla. 13-3:** Tubería de salida del TKR09

ÍTEM	ENTRADA	SALIDA	DESFOGUE	DIÁMETRO (mm)	DIÁMETRO (in)	CANTIDAD DE RAMALES	LONGITUD (m)
1	salida			75	3	1	2,8
<b>TOTAL</b>							<b>2,8</b>

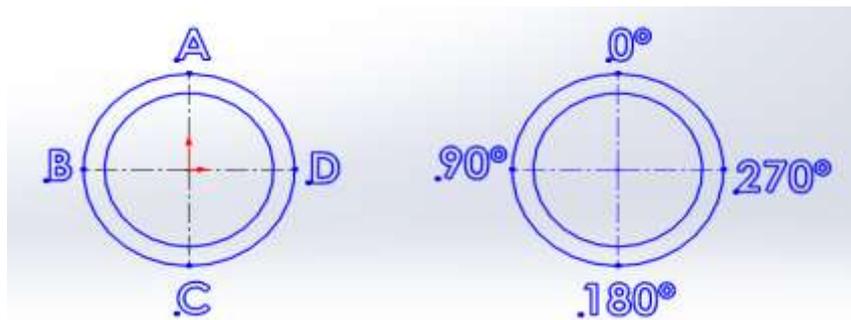
Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la tabla anterior según los datos de este tanque se tiene una tubería de salida de 75 mm (3 in) de diámetro con una longitud de 2,8 m.

La longitud total de entradas y salidas que se analiza es de 2,8 m.

### 3.1.7 Toma de espesores de tubería mediante inspección por ultrasonido

Para la medición de espesores se realiza en base a la norma API 570, en donde se hace la división en 4 partes a la sección transversal del tubo a 90° cada punto, estos se los denomina con las letras A, B, C, D tal como si indica a continuación en la figura 1-3.

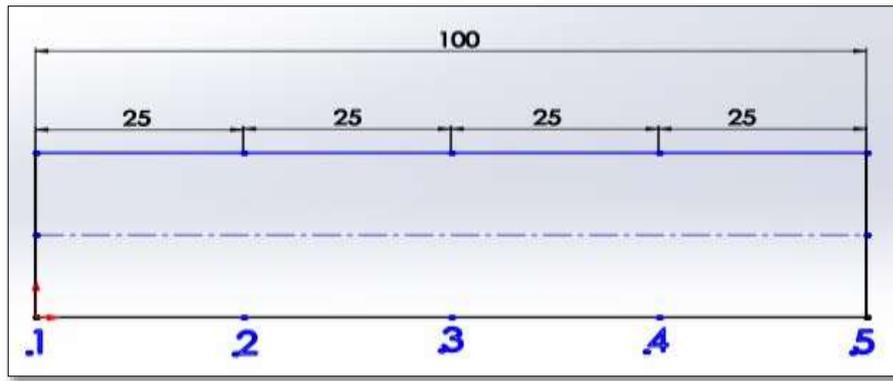


**Figura. 1-3:** Puntos de referencia

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la Figura 1-3 se tiene 4 puntos de referencia para la medición de espesores en cada una de las tuberías de entrada, salida y desfogue de los tanques de almacenamiento.

Para la toma de los puntos a lo largo de la tubería a inspeccionar se realiza de acuerdo al porcentaje total de su longitud, en la siguiente figura se muestra un ejemplo de la ubicación de estos puntos.



**Figura. 2-3:** Puntos de referencia a lo largo de la tubería  
 Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la figura 2-3, los puntos de referencia a lo largo de la tubería se los ubican considerando el total de su longitud, la distancia de los puntos es de 25 cm, esto se hace con el fin de tener el mayor número de puntos posibles ya que con eso nos permite obtener un análisis más preciso en la medición de espesores mediante ultrasonido.

### 3.1.8 Toma de espesores de tuberías

La medición de espesores mediante el método de ultrasonido se lo realiza con el fin de conocer la condición interna de la tubería. La medición de espesores puede realizarse cuando el sistema de tuberías esté o no en funcionamiento.

Para la medición de espesores se hace considerando las tuberías, codos y tes de las entradas, salidas y desfuegos de cada tanque de almacenamiento. Las mediciones se hacen en los 4 cuadrantes de los elementos antes mencionados.

Las tablas de medición de espesores mediante ultrasonido se encuentran detalladas en el ANEXO A.

### 3.1.9 Determinación de espesor mínimo requerido por norma AWWA C150

El cálculo del espesor mínimo requerido se hace en las tuberías de entrada, salida y desfogue de los tanques que son objeto de estudio, se utiliza la fórmula del numeral 4.1.2 de la norma AWWA C150:

$$t_R = \frac{PiD}{2S} \quad (5)$$

Esta fórmula permite realizar el cálculo del espesor requerido ( $t_R$ ) el cual es directamente proporcional a la presión interna ( $P_i$ ) y al diámetro de la tubería, e inversamente proporcional al producto de 2 veces el límite estático en tensión.

### 3.1.9.1 *Espesores mínimos requeridos de tuberías de entrada y salida del TKR01*

El cálculo del espesor mínimo requerido se hace en las tuberías de entrada y salida de este tanque, a continuación, en la tabla 14-3 se detalla los datos para el cálculo de estos espesores.

**Tabla. 14-3:** Espesor mínimo requerido de tuberías del TKR01

Entrada/ Salida	Presión de trabajo $P_w$ (psi)	Tolerancia de sobretensión $P_s$ (psi)	Presión Interna de diseño $P_i$ (psi)	Diámetro (in)	Límite elástico mínimo de tensión (psi)	Espesor requerido (in)	Espesor requerido (mm)
salida 1	16,61	100	233,22	2	42000	0,01	0,14
salida 2	16,61	100	233,22	4	42000	0,01	0,28
salida 3	16,61	100	233,22	2	42000	0,01	0,14
salida 4	16,61	100	233,22	2	42000	0,01	0,14
salida 5	16,61	100	233,22	2	42000	0,01	0,14
salida 6	16,61	100	233,22	2	42000	0,01	0,14
salida 7	16,61	100	233,22	2	42000	0,01	0,14
entrada 1	16,61	100	233,22	4	42000	0,01	0,28
entrada 2	16,61	100	233,22	3	42000	0,01	0,21

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior según los datos de espesor requerido calculados se tiene los valores de 0,14 mm, 0,21 mm y 0,28 mm, los cuales varían por el diámetro de la tubería que se analiza, ya que el resto de valores se mantienen constantes.

### 3.1.9.2 *Espesores mínimos requeridos de tuberías de entrada, salida y desfogue del TKC02*

El cálculo de espesor mínimo requerido se hace en las tuberías de entrada, salida y desfogue de este tanque, a continuación, en la tabla 15-3 se detalla los datos para el cálculo de estos espesores.

**Tabla. 15-3:** Espesor mínimo requerido de tuberías del TKC02

Entrada/ Salida/ Desfogue	Presión de trabajo Pw (psi)	Tolerancia de sobretensión Ps (psi)	Presión Interna de diseño Pi (psi)	Diámetro (in)	Límite elástico mínimo de tensión (psi)	Espesor requerido (in)	Espesor requerido (mm)
salida 1	18,28	100	236,56	8	42000	0,02	0,57
salida 2	18,28	100	236,56	2	42000	0,01	0,14
salida 3	18,28	100	236,56	2	42000	0,01	0,14
salida 4	18,28	100	236,56	2	42000	0,01	0,14
salida 5	18,28	100	236,56	2	42000	0,01	0,14
desfogue	18,28	100	236,56	4	42000	0,01	0,29
entrada	18,28	100	236,56	4	42000	0,01	0,29

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior según los datos del espesor requerido calculado, se tiene los valores de 0,14 mm, 0,29 mm y 0,57 mm los cuales varían por el diámetro de la tubería que se analiza, ya que el resto de valores se mantienen constantes.

### 3.1.9.3 *Espesores mínimos requeridos de tuberías de entrada, salida y desfogue del TKC03*

El cálculo de espesor mínimo requerido se hace en las tuberías de entrada, salida y desfogue de este tanque, a continuación, en la tabla 16-3 se detalla los datos para el cálculo de estos espesores.

En la tabla 16-3 según los datos del espesor requerido calculado, se tiene los valores de 0,14 mm y 0,29 los cuales varían por el diámetro de la tubería que se analiza, ya que el resto de valores se mantienen constantes.

**Tabla. 16-3:** Espesor mínimo requerido de tuberías del TKC03

Entrada/ Salida / Desfogue	Presión de trabajo Pw (psi)	Tolerancia de sobretensión Ps (psi)	Presión Interna de diseño Pi (psi)	Diámetro (in)	Límite elástico mínimo de tensión (psi)	Espesor requerido (in)	Espesor requerido (mm)
salida 1	18,28	100	236,56	2	42000	0,01	0,14
salida 2	18,28	100	236,56	2	42000	0,01	0,14
salida 3	18,28	100	236,56	2	42000	0,01	0,14
salida 4	18,28	100	236,56	2	42000	0,01	0,14
entrada	18,28	100	236,56	4	42000	0,01	0,29
desfogue	18,28	100	236,56	4	42000	0,01	0,29

Realizado por: Guaylla, J; 2019

### 3.1.9.4 *Espesores mínimos requeridos de tuberías de entrada, salida y desfogue del TKC04*

El cálculo de espesor mínimo requerido se hace en las tuberías de entrada, salida y desfogue de este tanque, a continuación, en la tabla 17-3 se detalla los datos para el cálculo de estos espesores.

**Tabla. 17-3:** Espesor mínimo requerido de tuberías del TKC04

<b>Entrada/ Salida/ Desfogue</b>	<b>Presión de trabajo Pw (psi)</b>	<b>Tolerancia de sobretensión Ps (psi)</b>	<b>Presión Interna de diseño Pi (psi)</b>	<b>Diámetro (in)</b>	<b>Límite elástico mínimo de tensión (psi)</b>	<b>Espesor requerido (in)</b>	<b>Espesor requerido (mm)</b>
entrada	17,97	100	235,94	3	42000	0,01	0,21
salida	17,97	100	235,94	3	42000	0,01	0,21
desfogue	17,97	100	235,94	2	42000	0,01	0,14

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior según los datos del espesor requerido calculado, se tiene los valores de 0,14 mm y 0,21 los cuales varían por el diámetro de la tubería que se analiza, ya que el resto de valores se mantienen constantes.

### 3.1.9.5 *Espesores mínimos requeridos de tuberías de entrada y salida del TKC05*

El cálculo de espesor mínimo requerido se hace en las tuberías de entrada, salida y desfogue de este tanque, a continuación, en la tabla 4-5 se detalla los datos para el cálculo de estos espesores.

**Tabla. 18-3:** Espesor mínimo requerido de tuberías del TKC05

<b>Entrada/ Salida</b>	<b>Presión de trabajo Pw (psi)</b>	<b>Tolerancia de sobretensión Ps (psi)</b>	<b>Presión Interna de diseño Pi (psi)</b>	<b>Diámetro (in)</b>	<b>Límite elástico mínimo de tensión (psi)</b>	<b>Espesor requerido (in)</b>	<b>Espesor requerido (mm)</b>
entrada	18,28	100	236,56	3	42000	0,01	0,21
salida	18,28	100	236,56	3	42000	0,01	0,21

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior según los datos del espesor requerido calculado, se tiene el valor de 0,21 mm el cual es el mismo para la entrada y salida ya que su diámetro es el mismo en ambos casos.

### 3.1.9.6 *Espesor mínimo requerido de tubería de entrada del TKR06*

El cálculo de espesor mínimo requerido se hace en las tuberías de entrada de este tanque, a continuación, en la tabla 4-6 se detalla los datos para el cálculo de estos espesores.

**Tabla. 19-3:** Espesor mínimo requerido de tuberías del TKR06

<b>Entrada/ Salida</b>	<b>Presión de trabajo Pw (psi)</b>	<b>Tolerancia de sobretensión Ps (psi)</b>	<b>Presión Interna de diseño (psi)</b>	<b>Diámetro (in)</b>	<b>Límite elástico mínimo de tensión (psi)</b>	<b>Espesor requerido (in)</b>	<b>Espesor requerido (mm)</b>
entrada	18,28	100	236,56	2	42000	0,01	0,14

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior según los datos del espesor requerido calculado, se tiene el valor de 0,14 mm.

### 3.1.9.7 *Espesor mínimo requerido de tubería de entrada, salida y desfogue del TKC07*

El cálculo de espesor mínimo requerido se hace en las tuberías de entrada, salida y desfogue de este tanque, a continuación, en la tabla 20-3 se detalla los datos para el cálculo de estos espesores.

En la tabla 20-3 según los datos del espesor requerido calculado, se tiene el valor de 0,14 mm el cual es el mismo para la entrada, salidas y desfogue ya que su diámetro es el mismo en todos los casos.

**Tabla. 20-3:** Espesor mínimo requerido de tuberías del TKC07

<b>Entrada/ Salida / Desfogue</b>	<b>Presión de trabajo Pw (psi)</b>	<b>Tolerancia de sobretensión Ps (psi)</b>	<b>Presión Interna de diseño Pi (psi)</b>	<b>Diámetro (in)</b>	<b>Límite elástico mínimo de tensión (psi)</b>	<b>Espesor requerido (in)</b>	<b>Espesor requerido (mm)</b>
entrada	18,03	100	236,06	2	42000	0,01	0,14
salida 1	18,03	100	236,06	2	42000	0,01	0,14
salida 2	18,03	100	236,06	2	42000	0,01	0,14
desfogue	18,03	100	236,06	2	42000	0,01	0,14

Realizado por: Guaylla, J; 2019

### 3.1.9.8 *Espesor mínimo requerido de tubería de la salida y desfogue del TKC08*

El cálculo de espesor mínimo requerido se hace en las tuberías de salida y desfogue de este tanque, a continuación, en la tabla 21-3 se detalla los datos para el cálculo de estos espesores.

**Tabla. 21-3:** Espesor mínimo requerido de tuberías del TKC08

<b>Entrada/ Salida / Desfogue</b>	<b>Presión de trabajo Pw (psi)</b>	<b>Tolerancia de sobretensión Ps (psi)</b>	<b>Presión Interna de diseño Pi (psi)</b>	<b>Diámetro (in)</b>	<b>Límite elástico mínimo de tensión (psi)</b>	<b>Espesor requerido (in)</b>	<b>Espesor requerido (mm)</b>
salida	18,03	100	236,06	2	42000	0,01	0,14
desfogue	18,03	100	236,06	2	42000	0,01	0,14

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior según los datos del espesor requerido calculado, se tiene el valor de 0,14 mm el cual es el mismo para la salida y desfogue ya que su diámetro es el mismo en ambos casos.

### 3.1.9.9 *Espesor mínimo requerido de tubería de la salida del TKR09*

El cálculo de espesor mínimo requerido se hace en la tubería de salida de este tanque, a continuación, en la tabla 22-3 se detalla los datos para el cálculo de este espesor.

En la tabla 22-3 según los datos del espesor requerido calculado, se tiene el valor de 0,21 mm, tal como se detalla a continuación.

**Tabla. 22-3:** Espesor mínimo requerido de tuberías del TKR09

<b>Entrada/ Salida</b>	<b>Presión de trabajo Pw (psi)</b>	<b>Tolerancia de sobretensión Ps (psi)</b>	<b>Presión Interna de diseño Pi (psi)</b>	<b>Diámetro (in)</b>	<b>Límite elástico mínimo de tensión (psi)</b>	<b>Espesor requerido (in)</b>	<b>Espesor requerido (mm)</b>
salida	18,28	100	236,56	3	42000	0,01	0,21

Realizado por: Guaylla, J; 2019

### 3.1.10 *Determinación de espesor mínimo medido*

Para determinar el espesor mínimo medido en cada una de las tuberías de entrada, salida o desfogue de los tanques de almacenamiento se realiza tomando en cuenta los datos de cada una

de las tablas de medición de espesores del ANEXO A, determinando el espesor mínimo para las tuberías, codos de 90° y te, tal como se detalla a continuación para las tuberías de cada tanque.

### 3.1.10.1 *Espesor mínimo de las tuberías de entrada y salida del TKR01*

En la tabla 23-3 se indica el número de tanque con las tuberías de entrada y salida, contando el total de puntos medidos en los 4 puntos cardinales tanto en la tubería y codos para determinar su espesor mínimo medido como se muestra a continuación.

**Tabla. 23-3:** Espesores mínimos del TKR01

CÓDIGO	ENTRADA	SALIDA	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	DIÁMETRO DE TUBERÍA (mm)	TOTAL PUNTOS MEDIDOS		MÍNIMO (mm)	
					TUBO	CODO	TUBO	CODO
TKR01	salida 1		2	50	76	24	2,56	2,37
TKR01	salida 2		4	100	60	36	3,26	3,54
TKR01	salida 3		2	50	84	32	2,53	2,95
TKR01	salida 4		2	50	84	32	2,51	2,65
TKR01	salida 5		2	50	84	32	2,55	2,69
TKR01	salida 6		2	50	84	32	2,49	3,09
TKR01	salida 7		2	50	80	32	2,46	2,65
TKR01	entrada 1		4	100	56	8	3,36	4,88
TKR01	entrada 2		3	75	56	8	3,06	3,82

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior se indica el espesor mínimo de los puntos medidos para las tuberías y codos de las entradas y salidas de 50 mm y 100 mm de diámetro.

### 3.1.10.2 *Espesor mínimo de las tuberías de entrada y salida del TKC02*

En la tabla 24-3 se indica el número de tanque con las tuberías de salidas, entrada y desfogue, contando el total de puntos medidos en los 4 puntos cardinales tanto en la tubería, codos y te para determinar su espesor mínimo medido como se muestra a continuación.

**Tabla. 24-3:** Espesores mínimos del TKC02

CÓDIGO	ENTRADA	SALIDA	DESFOGUE	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	DIÁMETRO DE TUBERÍA (mm)	TOTAL PUNTOS MEDIDOS			MÍNIMO (mm)		
						TUBO	CODO	TE	TUBO	CODO	TE
TKC02	salida 1			8	200	160	-	-	3,02	-	-

**Tabla. 24-3 (Continúa):** Espesores mínimos del TKC02

TKC02	salida 2	2	50	20	-	-	2,46	-	-
TKC02	salida 3	2	50	20	-	-	2,51	-	-
TKC02	salida 4	2	50	12	-	-	2,90	-	-
TKC02	salida 5	2	50	20	-	-	2,52	-	-
TKC02	entrada	4	100	48	8	-	5,15	4,21	-
TKC02	desfogue	4	100	60	8	4	3,50	3,75	7,41

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior se indica el espesor mínimo de los puntos medidos para las tuberías, codos y tes de las entradas y salidas de 50 mm, 100 mm y 200 mm de diámetro.

### 3.1.10.3 *Espesor mínimo de las tuberías de entrada y salida del TKC03*

En la tabla 25-3 se indica el número de tanque con las tuberías de salidas, entrada y desfogue, contando el total de puntos medidos en los 4 puntos cardinales tanto en la tubería, codos y te para determinar su espesor mínimo medido como se muestra a continuación.

**Tabla. 25-3:** Espesores mínimos del TKC03

CÓDIGO	ENTRADA	SALIDA	DESFOGUE	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	DIÁMETRO DE TUBERÍA (mm)	TOTAL PUNTOS MEDIDOS			MÍNIMO (mm)		
						TUBO	CODO	TE	TUBO	CODO	TE
TKC03	salida 1			2	50	12	-	-	2,52	-	-
TKC03	salida 2			2	50	20	-	-	2,49	-	-
TKC03	salida 3			2	50	20	-	-	2,55	-	-
TKC03	salida 4			2	50	20	-	-	2,52	-	-
TKC03	entrada			4	100	48	8		5,18	4,05	-
TKC03	desfogue			4	100	60	8	4	3,88	5,52	6,80

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior se indica el espesor mínimo de los puntos medidos para las tuberías, codos y tes de las entradas y salidas de 50 mm y 100 mm de diámetro.

### 3.1.10.4 *Espesor mínimo de las tuberías de entrada y salida del TKC04*

En la tabla 26-3 se indica el número de tanque con las tuberías de entrada, salida y desfogue, contando el total de puntos medidos en los 4 puntos cardinales tanto en la tubería, codos y te para determinar su espesor mínimo medido como se muestra a continuación.

**Tabla. 26-3:** Espesores mínimos del TKC04

CÓDIGO	ENTRADA	SALIDA	DESFOGUE	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	DIÁMETRO DE TUBERÍA (mm)	TOTAL PUNTOS MEDIDOS			MÍNIMO (mm)		
						TUBO	CODO	TE	TUBO	CODO	TE
TKC04	entrada			3	75	36	4	-	3,17	4,2	-
TKC04	salida			2	50	20	4	-	2,94	3,35	-
TKC04	desfogue			3	75	52	8	4	3,2	3,41	5,16

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior se indica el espesor mínimo de los puntos medidos para las tuberías, codos y tes de la entrada, salida y desfogue de 50 mm y 75 mm de diámetro.

### 3.1.10.5 *Espesor mínimo de las tuberías de entrada y salida del TKC05*

En la tabla 27-3 se indica el número de tanque con las tuberías de entrada y salida contando el total de puntos medidos en los 4 puntos cardinales tanto en la tubería y codos para determinar su espesor mínimo medido como se muestra a continuación.

**Tabla. 27-3:** Espesores mínimos del TKC05

CÓDIGO	ENTRADA	SALIDA	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	DIÁMETRO DE TUBERÍA (mm)	TOTAL PUNTOS MEDIDOS		MÍNIMO (mm)	
					TUBO	CODO	TUBO	CODO
TKC05	salida		3	75	12		3,62	
TKC05	entrada		3	75	52	8	3,17	2,86

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior se indica el espesor mínimo de los puntos medidos para las tuberías y codos de la entrada y salida de 75 mm de diámetro.

### 3.1.10.6 *Espesor mínimo de las tuberías de entrada y salida del TKR06*

En la tabla 28-3 se indica el número de tanque con la tubería de entrada contando el total de puntos medidos en los 4 puntos cardinales tanto en la tubería y codos para determinar su espesor mínimo medido como se muestra a continuación.

**Tabla. 28-3:** Espesores mínimos del TKR06

CÓDIGO	ENTRADA	SALIDA	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	DIÁMETRO DE TUBERÍA (mm)	TOTAL PUNTOS MEDIDOS		MÍNIMO (mm)	
					TUBO	CODO	TUBO	CODO
TKR06	entrada		2	50	36	8	2,56	4,12

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior se indica el espesor mínimo de los puntos medidos para la tubería y codos de la entrada de 50 mm de diámetro.

### 3.1.10.7 *Espesor mínimo de las tuberías de entrada y salida del TKC07*

En la tabla 29-3 se indica el número de tanque con la tubería de entrada contando el total de puntos medidos en los 4 puntos cardinales tanto en la tubería y codos para determinar su espesor mínimo medido como se muestra a continuación.

**Tabla. 29-3:** Espesores mínimos del TKC07

CÓDIGO	ENTRADA	SALIDA	DESFOGUE	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	DIÁMETRO DE TUBERÍA (mm)	TOTAL PUNTOS MEDIDOS		MÍNIMO (mm)	
						TUBO	CODO	TUBO	CODO
TKC07	salida 1			2	50	20		2,61	
TKC07	salida 2			2	50	20		2,32	
TKC07	entrada			2	50	40	8	2,67	3,03
TKC07	desfogue			2	50	12	4	2,68	3,31

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior se indica el espesor mínimo de los puntos medidos para la tubería y codos de la entrada, salida y desfogue de 50 mm de diámetro.

### 3.1.10.8 *Espesor mínimo de las tuberías de entrada y salida del TKC08*

En la tabla 30-3 se indica el número de tanque con la tubería de entrada contando el total de puntos medidos en los 4 puntos cardinales tanto en la tubería y codos para determinar su espesor mínimo medido como se muestra a continuación.

**Tabla. 30-3:** Espesores mínimos del TKC08

CÓDIGO	ENTRADA	SALIDA	DESFOGUE	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	DIÁMETRO DE TUBERÍA (mm)	TOTAL PUNTOS MEDIDOS		MÍNIMO (mm)	
						TUBO	CODO	TUBO	CODO
TKC08	salida			2	50	24		2,80	
TKC08	desfogue			2	50	20		2,93	

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior se indica el espesor mínimo de los puntos medidos para la tubería de la salida y desfogue de 50 mm de diámetro.

### 3.1.10.9 *Espesor mínimo de las tuberías de entrada y salida del TKR09*

En la tabla 31-3 se indica el número de tanque con la tubería de salida contando el total de puntos medidos en los 4 puntos cardinales tanto en la tubería y codos para determinar su espesor mínimo medido como se muestra a continuación.

**Tabla. 31-3:** Espesores mínimos del TKR09

CÓDIGO	ENTRADA	SALIDA	DESFOGUE	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	DIÁMETRO DE TUBERÍA (mm)	TOTAL PUNTOS MEDIDOS			MÍNIMO (mm)		
						TUBO	CODO	TE	TUBO	CODO	TE
TKR09	salida			3	75	56	20	4	3,00	4,05	7,18

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior se indica el espesor mínimo de los puntos medidos para la tubería de la salida de 75 mm de diámetro.

### 3.1.11 *Determinación de espesor máximo.*

Para determinar el espesor máximo en cada uno de los ramales de entrada, salida o desfogue de los tanques de almacenamiento se realiza tomando en cuenta los datos de cada una de las tablas de medición de espesores del ANEXO A, determinando el espesor máximo para las tuberías, codos de 90° y te, tal como se detalla a continuación para cada tanque.

#### 3.1.11.1 *Espesor máximo de las tuberías de entrada y salida del TKR01*

En la tabla 32-3 se detalla los datos de número de tanque con las entradas y salidas de tubería, el total de puntos medidos alrededor de los 4 puntos cardinales para la tubería y codos, para así determinar su espesor máximo como se muestra a continuación.

**Tabla. 32-3:** Espesores máximos del TKR01

CÓDIGO	ENTRADA	SALIDA	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	DIÁMETRO DE TUBERÍA (mm)	TOTAL PUNTOS MEDIDOS		MÁXIMO (mm)	
					TUBO	CODO	TUBO	CODO
TKR01	salida 1		2	50	76	24	3,31	4,80
TKR01	salida 2		4	100	60	36	4,35	8,42
TKR01	salida 3		2	50	84	32	3,17	5,24
TKR01	salida 4		2	50	84	32	3,00	4,61
TKR01	salida 5		2	50	84	32	3,03	4,86
TKR01	salida 6		2	50	84	32	3,01	6,00
TKR01	salida 7		2	50	80	32	3,88	5,25
TKR01	entrada 1		4	100	56	8	5,30	6,15
TKR01	entrada 2		3	75	56	8	3,59	5,61

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior se indica los valores de espesor máximo que se obtienen de los puntos medidos en las tuberías y codos de 50 mm, 75 mm y 100 mm de diámetro.

### 3.1.11.2 Espesor máximo de las tuberías de entrada, salida y desfogue del TKC02

En la tabla 33-3 se detalla los datos de número de tanque con las entradas, salidas y desfogue de tubería, el total de puntos medidos alrededor de los 4 puntos cardinales para la tubería, codos y te, para así determinar su espesor máximo como se muestra a continuación.

**Tabla. 33-3:** Espesores máximos del TKC02

CÓDIGO	ENTRADA	SALIDA	DESFOGUE	NÚMERO DE RAMAL	DIÁMETRO DE TUBERÍA (mm)	TOTAL PUNTOS MEDIDOS			MÁXIMO (mm)		
						TUBO	CODO	TE	TUBO	CODO	TE
TKC02	salida			1	200	160	-	-	4,12		
TKC02	salida			2	50	20	-	-	3,38		
TKC02	salida			3	50	20	-	-	3,12		
TKC02	salida			4	50	12	-	-	3,40		
TKC02	salida			5	50	20	-	-	3,09		
TKC02	entrada			1	100	48	8	-	5,73	7,26	
TKC02	desfogue			1	100	60	8	4	4,64	6,63	8,75

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior se indica los valores de espesor máximo que se obtienen de los puntos medidos en las tuberías y codos de 50 mm, 100 mm y 200 mm de diámetro.

### 3.1.11.3 *Espesor máximo de las tuberías de entrada, salida y desfogue del TKC03*

En la tabla 34-3 se detalla los datos de número de tanque con las entradas, salidas y desfogue de tubería, el total de puntos medidos alrededor de los 4 puntos cardinales para la tubería, codos y te, para así determinar su espesor máximo como se muestra a continuación.

**Tabla. 34-3:** Espesores máximos del TKC03

CÓDIGO	ENTRADA	SALIDA	DESFOGUE	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	DIÁMETRO DE TUBERÍA (mm)	TOTAL PUNTOS MEDIDOS			MÁXIMO (mm)		
						TUBO	CODO	TE	TUBO	CODO	TE
TKC03	salida 1			2	50	12	-	-	3,06		
TKC03	salida 2			2	50	20	-	-	3,09		
TKC03	salida 3			2	50	20	-	-	3,06		
TKC03	salida 4			2	50	20	-	-	3,06		
TKC03	entrada			4	100	48	8	-	5,96	5,74	
TKC03	desfogue			4	100	60	8	4	4,06	7,25	7,60

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior se indica los valores de espesor máximo que se obtienen de los puntos medidos en las tuberías y codos de 50 mm y 100 mm de diámetro.

### 3.1.11.4 *Espesor máximo de las tuberías de entrada, salida y desfogue del TKC04*

En la tabla 35-3 se detalla los datos de número de tanque con la entrada, salida y desfogue de tubería, el total de puntos medidos alrededor de los 4 puntos cardinales para la tubería, codos y te, para así determinar su espesor máximo como se muestra a continuación.

**Tabla. 35-3:** Espesores máximos del TKC04

CÓDIGO	ENTRADA	SALIDA	DESFOGUE	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	DIÁMETRO DE TUBERÍA (mm)	TOTAL PUNTOS MEDIDOS			MÁXIMO (mm)		
						TUBO	CODO	TE	TUBO	CODO	TE
TKC04	entrada			3	75	36	4		3,45	5,80	
TKC04	desfogue			2	50	20	4		4,12	5,11	
TKC04	salida			3	75	52	8	4	3,50	6,15	5,77

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior se indica los valores de espesor máximo que se obtienen de los puntos medidos en las tuberías y codos de 50 mm y 75 mm de diámetro.

### 3.1.11.5 *Espesor máximo de las tuberías de entrada, salida y desfogue del TKC05*

En la tabla 36-3 se detalla los datos de número de tanque con la entrada y salida de tubería, el total de puntos medidos alrededor de los 4 puntos cardinales para la tubería y codo, para así determinar su espesor máximo como se muestra a continuación.

**Tabla. 36-3:** Espesores máximos del TKC05

CÓDIGO	ENTRADA	SALIDA	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	DIÁMETRO DE TUBERÍA (mm)	TOTAL PUNTOS MEDIDOS		MÁXIMO (mm)	
					TUBO	CODO	TUBO	CODO
TKC05	salida		3	75	12		4,11	
TKC05	entrada		3	75	52	8	3,89	8,65

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior se indica los valores de espesor máximo que se obtienen de los puntos medidos en las tuberías y codos de 75 mm de diámetro.

### 3.1.11.6 *Espesor máximo de las tuberías de entrada, salida y desfogue del TKR06*

En la tabla 37-3 se detalla los datos de número de tanque con la entrada de tubería, el total de puntos medidos alrededor de los 4 puntos cardinales para la tubería y codo, para así determinar su espesor máximo como se muestra a continuación.

**Tabla. 37-3:** Espesores máximos del TKR06

CÓDIGO	ENTRADA	SALIDA	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	DIÁMETRO DE TUBERÍA (mm)	TOTAL PUNTOS MEDIDOS		MÁXIMO (mm)	
					TUBO	CODO	TUBO	CODO
TKR06	entrada		2	50	36	8	3,06	6,57

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior se indica los valores de espesor máximo que se obtienen de los puntos medidos en las tuberías y codos de 50 mm de diámetro.

### 3.1.11.7 *Espesor máximo de las tuberías de entrada, salida y desfogue del TKC07*

En la tabla 38-3 se detalla los datos de número de tanque con la entrada, salidas y desfogue de tubería, el total de puntos medidos alrededor de los 4 puntos cardinales para la tubería y codo, para así determinar su espesor máximo como se muestra a continuación.

**Tabla. 38-3:** Espesores máximos del TKC07

CÓDIGO	ENTRADA	SALIDA	DESFOGUE	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	DIÁMETRO DE TUBERÍA (mm)	TOTAL PUNTOS MEDIDOS		MÁXIMO (mm)	
						TUBO	CODO	TUBO	CODO
TKC07	salida 1			2	50	20		3,10	
TKC07	salida 2			2	50	20		2,68	
TKC07	entrada			2	50	40	8	3,09	6,80
TKC07	desfogue			2	50	12	4	3,06	4,77

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior se indica los valores de espesor máximo que se obtienen de los puntos medidos en las tuberías y codos de 50 mm de diámetro.

### 3.1.11.8 *Espesor máximo de las tuberías de entrada, salida y desfogue del TKC08*

En la tabla 39-3 se detalla los datos de número de tanque con la salida y desfogue de tubería, el total de puntos medidos alrededor de los 4 puntos cardinales para la tubería y codo, para así determinar su espesor máximo como se muestra a continuación.

**Tabla. 39-3:** Espesores máximos del TKC08

CÓDIGO	ENTRADA	SALIDA	DESFOGUE	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	DIÁMETRO DE TUBERÍA (mm)	TOTAL PUNTOS MEDIDOS		MÁXIMO (mm)	
						TUBO	CODO	TUBO	CODO
TKC08	salida			2	50	24		4,29	
TKC08	desfogue			2	50	20		3,74	

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior se indica los valores de espesor máximo que se obtienen de los puntos medidos en las tuberías y codos de 50 mm de diámetro.

### 3.1.11.9 *Espesor máximo de las tuberías de entrada, salida y desfogue del TKR09*

En la tabla 40-3 se detalla los datos de número de tanque con la salida de tubería, el total de puntos medidos alrededor de los 4 puntos cardinales para la tubería y codo, para así determinar su espesor máximo como se muestra a continuación.

En la tabla 40-3 se indica los valores de espesor máximo que se obtienen de los puntos medidos en las tuberías y codos de 50 mm de diámetro.

**Tabla. 40-3:** Espesores máximos del TKR09

CÓDIGO	ENTRADA	SALIDA	DESFOGUE	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	DIÁMETRO DE TUBERÍA (mm)	TOTAL PUNTOS MEDIDOS			MÁXIMO (mm)		
						TUBO	CODO	TE	TUBO	CODO	TE
TKR09	salida			3	75	56	20	4	5,68	7,57	8,87

Realizado por: Guaylla, J; 2019

**3.1.12 Determinación de espesor medio.**

Para determinar el espesor medio se realiza tomando en cuenta los datos de cada una de las tablas de medición de espesores del capítulo anexo A, determinando el espesor medio para las tuberías, codos y te para cada tanque tal como se detalla a continuación.

**3.1.12.1 Espesor medio de tubería de entrada y salida del TKR01**

En la tabla 41-3 se detalla los datos de número de tanque con la salida de tubería, el total de puntos medidos alrededor de los 4 puntos cardinales para la tubería y codo, para así determinar su espesor medio como se muestra a continuación.

**Tabla. 41-3:** Espesor medio del TKR01

CÓDIGO	ENTRADA	SALIDA	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	DIÁMETRO DE TUBERÍA (mm)	TOTAL PUNTOS MEDIDOS		PROMEDIO (mm)	
					TUBO	CODO	TUBO	CODO
TKR01	salida 1		2	50	76	24	2,87	3,85
TKR01	salida 2		4	100	60	36	3,46	6,01
TKR01	salida 3		2	50	84	32	2,87	3,81
TKR01	salida 4		2	50	84	32	2,84	3,66
TKR01	salida 5		2	50	84	32	2,84	3,81
TKR01	salida 6		2	50	84	32	2,81	4,01
TKR01	salida 7		2	50	80	32	2,85	3,67
TKR01	entrada 1		4	100	56	8	3,62	5,46
TKR01	entrada 2		3	75	56	8	3,28	5,08

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior se indica los valores de espesor medio que se obtienen de los puntos medidos en las tuberías y codos de 50 mm, 75 mm y 100 mm de diámetro.

### 3.1.12.2 *Espesor medio de las tuberías de entrada, salida y desfogue del TKC02*

En la tabla 42-3 se detalla los datos de número de tanque con la salida de tubería, el total de puntos medidos alrededor de los 4 puntos cardinales para la tubería y codo, para así determinar su espesor medio como se muestra a continuación.

**Tabla. 42-3:** Espesor medio del TKC02

CÓDIGO	ENTRADA	SALIDA	DESFOGUE	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	DIÁMETRO DE TUBERÍA (mm)	TOTAL PUNTOS MEDIDOS			PROMEDIO (mm)		
						TUBO	CODO	TE	TUBO	CODO	TE
TKC02	salida 1			8	200	160	-	-	3,78	-	-
TKC02	salida 2			2	50	20	-	-	2,86	-	-
TKC02	salida 3			2	50	20	-	-	2,86	-	-
TKC02	salida 4			2	50	12	-	-	3,10	-	-
TKC02	salida 5			2	50	20	-	-	2,91	-	-
TKC02	entrada			4	100	60	8	4	3,94	5,61	8,29
TKC02	desfogue			4	100	48	8	-	5,32	6,25	-

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior se indica los valores de espesor medio que se obtienen de los puntos medidos en las tuberías, codos y tes de 50 mm, 100 mm y 200 mm de diámetro.

### 3.1.12.3 *Espesor medio de las tuberías de entrada, salida y desfogue del TKC03*

En la tabla 43-3 se detalla los datos de número de tanque con la salida de tubería, el total de puntos medidos alrededor de los 4 puntos cardinales para la tubería y codo, para así determinar su espesor medio como se muestra a continuación.

**Tabla. 43-3:** Espesor medio del TKC03

CÓDIGO	ENTRADA	SALIDA	DESFOGUE	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	DIÁMETRO DE TUBERÍA (mm)	TOTAL PUNTOS MEDIDOS			PROMEDIO (mm)		
						TUBO	CODO	TE	TUBO	CODO	TE
TKC03	salida 1			2	50	12	-	-	2,87	-	-
TKC03	salida 2			2	50	20	-	-	2,79	-	-
TKC03	salida 3			2	50	20	-	-	2,80	-	-
TKC03	salida 4			2	50	20	-	-	2,84	-	-
TKC03	entrada			4	100	48	8	-	5,31	5,07	-
TKC03	desfogue			4	100	15	2	1	3,88	5,52	7,33

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior se indica los valores de espesor medio que se obtienen de los puntos medidos en las tuberías, codos y tes de 50 mm, 100 mm y 200 mm de diámetro.

### 3.1.12.4 *Espesor medio de las tuberías de entrada, salida y desfogue del TKC04*

En la tabla 43-3 se detalla los datos de número de tanque con la salida de tubería, el total de puntos medidos alrededor de los 4 puntos cardinales para la tubería y codo, para así determinar su espesor medio como se muestra a continuación.

**Tabla. 44-3:** Espesor medio del TKC04

CÓDIGO	ENTRADA	SALIDA	DESFOGUE	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	DIÁMETRO DE TUBERÍA (mm)	TOTAL PUNTOS MEDIDOS			PROMEDIO (mm)		
						TUBO	CODO	TE	TUBO	CODO	TE
TKC04	entrada			3	75	36	4		3,24	5,12	
TKC04	desfogue			2	50	20	4		3,19	4,30	
TKC04	salida			3	75	52	8	4	3,30	5,06	5,45

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior se indica los valores de espesor medio que se obtienen de los puntos medidos en las tuberías, codos y tes de 50 mm, 75 mm de diámetro.

### 3.1.12.5 *Espesor medio de las tuberías de entrada, salida y desfogue del TKC05*

En la tabla 45-3 se detalla los datos de número de tanque con la salida de tubería, el total de puntos medidos alrededor de los 4 puntos cardinales para la tubería y codo, para así determinar su espesor medio como se muestra a continuación.

**Tabla. 45-3:** Espesor medio del TKC05

CÓDIGO	ENTRADA	SALIDA	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	DIÁMETRO DE TUBERÍA (mm)	TOTAL PUNTOS MEDIDOS		PROMEDIO (mm)	
					TUBO	CODO	TUBO	CODO
TKC05	salida		3	75	12		3,71	
TKC05	entrada		3	75	52	8	3,30	5,20

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior se indica los valores de espesor medio que se obtienen de los puntos medidos en las tuberías y codos de 75 mm de diámetro.

### 3.1.12.6 *Espesor medio de las tuberías de entrada, salida y desfogue del TKR06*

En la tabla 46-3 se detalla los datos de número de tanque con la salida de tubería, el total de puntos medidos alrededor de los 4 puntos cardinales para la tubería y codo, para así determinar su espesor medio como se muestra a continuación.

**Tabla. 46-3:** Espesor medio del TKR06

CÓDIGO	ENTRADA	SALIDA	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	DIÁMETRO DE TUBERÍA (mm)	TOTAL PUNTOS MEDIDOS		PROMEDIO (mm)	
					TUBO	CODO	TUBO	CODO
TKR06	entrada		2	50	9	2	2,69	4,93

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior se indica los valores de espesor medio que se obtienen de los puntos medidos en las tuberías y codos de 50 mm de diámetro.

### 3.1.12.7 *Espesor medio de las tuberías de entrada, salida y desfogue del TKC07*

En la tabla 47-3 se detalla los datos de número de tanque con la salida de tubería, el total de puntos medidos alrededor de los 4 puntos cardinales para la tubería y codo, para así determinar su espesor medio como se muestra a continuación.

**Tabla. 47-3:** Espesor medio del TKC07

CÓDIGO	ENTRADA	SALIDA	DESFOGUE	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	DIÁMETRO DE TUBERÍA (mm)	TOTAL PUNTOS MEDIDOS		PROMEDIO (mm)	
						TUBO	CODO	TUBO	CODO
TKC07		salida 1		2	50	20		2,80	
TKC07		salida 2		2	50	20		2,50	
TKC07	entrada			2	50	40	8	2,86	3,03
TKC07	desfogue			2	50	12	4	2,86	4,16

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior se indica los valores de espesor medio que se obtienen de los puntos medidos en las tuberías y codos de 50 mm de diámetro.

### 3.1.12.8 *Espesor medio de las tuberías de entrada, salida y desfogue del TKC08*

En la tabla 48-3 se detalla los datos de número de tanque con la salida de tubería, el total de puntos medidos alrededor de los 4 puntos cardinales para la tubería y codo, para así determinar su espesor medio como se muestra a continuación.

**Tabla. 48-3:** Espesor medio del TKC08

CÓDIGO	ENTRADA	SALIDA	DESFOGUE	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	DIÁMETRO DE TUBERÍA (mm)	TOTAL PUNTOS MEDIDOS		PROMEDIO (mm)	
						TUBO	CODO	TUBO	CODO
TKC08	salida			2	50	6		3,24	
TKC08	desfogue			2	50	5		3,30	

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior se indica los valores de espesor medio que se obtienen de los puntos medidos en las tuberías y codos de 50 mm de diámetro.

### 3.1.12.9 *Espesor medio de las tuberías de entrada, salida y desfogue del TKR09*

En la tabla 49-3 se detalla los datos de número de tanque con la salida de tubería, el total de puntos medidos alrededor de los 4 puntos cardinales para la tubería y codo, para así determinar su espesor medio como se muestra a continuación.

**Tabla. 49-3:** Espesor medio del TKR09

CÓDIGO	ENTRADA	SALIDA	DESFOGUE	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	DIÁMETRO DE TUBERÍA (mm)	TOTAL PUNTOS MEDIDOS			PROMEDIO (mm)		
						TUBO	CODO	TE	TUBO	CODO	TE
TKR09	salida			3	75	56	20	4	4,48	5,93	7,78

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior se indica los valores de espesor medio que se obtienen de los puntos medidos en las tuberías, codos y tes de 75 mm de diámetro.

### 3.1.13 *Determinación de zonas con espesores mínimos*

Para determinar los espesores bajos de las tuberías de entrada, salida o desfogue, codos y te correspondientes a cada tanque se hace a partir de las tablas de medición de espesores del ANEXO A en donde se escoge el espesor medido más bajo de los 4 puntos cardinales de cada ítem en cada una de las tuberías de los tanques de almacenamiento tal como se muestra en la siguiente figura:

ESPEORES							
DESCRIPCIÓN	soldadura / roscado	DIÁMETRO (mm)	ÍTEM	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)
TUBO	ROSCA	50	1	2,91	2,88	3,31	2,85
TUBO	ROSCA	50	2	2,82	2,82	2,87	2,85
TUBO	ROSCA	50	6	2,88	3,23	2,83	2,79
TUBO	ROSCA	50	7	2,97	2,83	2,84	2,85
TUBO	ROSCA	50	8	2,81	2,93	2,93	2,84
TUBO	ROSCA	50	9	3,19	2,81	2,84	2,85
TUBO	ROSCA	50	10	3,02	3,00	2,93	2,84
TUBO	ROSCA	50	11	2,96	2,85	2,98	2,86
TUBO	ROSCA	50	12	2,56	2,66	2,77	2,86
TUBO	ROSCA	50	14	2,92	2,85	2,86	2,80
TUBO	ROSCA	50	15	2,86	2,89	2,89	2,95

**Figura. 3-3:** Toma de espesores bajos en los 4 puntos cardinales  
Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la figura anterior se puede observar en las 4 últimas columnas los espesores medidos en los 4 puntos cardinales A, B, C, D en donde se marca con color rojo cada uno de los espesores más bajos en cada ítem. Este procedimiento se hace para cada una de las tuberías de entrada, salida y desfogue en los diferentes tanques tal como se detalla a continuación.

### 3.1.13.1 Determinación de zonas de los puntos cardinales ABCD con mayor cantidad de espesores bajos en el TKR01

En la tabla 50-3 se indica los puntos medidos en las tuberías de entrada, salida y codos que se encuentran en este tanque, se detalla además el número de espesores bajos en cada uno de los puntos A, B, C, D.

**Tabla. 50-3:** Espesores bajos en el tanque TKR01

ENTRADA / SALIDA	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	TUBO / CODO	PUNTOS MEDIDOS	ZONAS BAJAS DE PUNTOS CARDINALES				
				A	B	C	D	TOTAL (ABCD)
salida 1	2	codo	24	0	1	1	4	6
		tubo	76	7	5	3	4	19
salida 2	4	codo	36	4	1	1	3	9
		tubo	60	7	4	1	3	15
salida 3	2	codo	36	1	2	1	4	8
		tubo	60	4	7	5	8	24
salida 4	2	codo	32	2	2	1	3	8
		tubo	84	3	8	2	8	21
salida 5	2	codo	32	2	4	0	2	8
		tubo	84	2	10	8	6	26

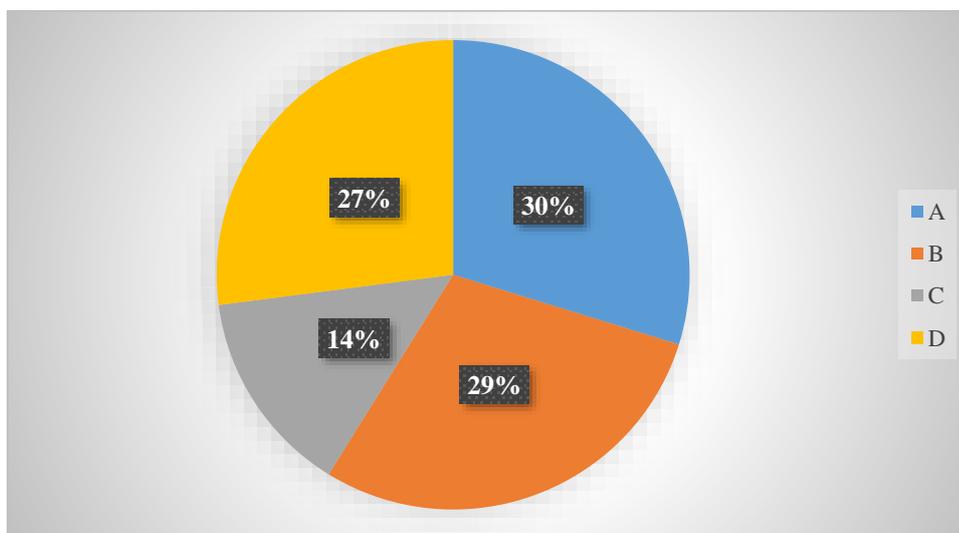
**Tabla. 51-3 (Continúa):** Espesores bajos en el tanque TKR01

salida 6	2	codo	32	2	3	0	3	8
		tubo	84	9	8	4	6	27
salida 7	2	codo	32	1	6	0	1	8
		tubo	80	12	5	3	5	25
entrada 1	4	codo	8	0	1	0	1	2
		tubo	56	12	5	3	5	25
entrada 2	3	codo	8	2	0	0	0	2
		tubo	56	6	2	3	3	14
<b>TOTAL</b>				<b>76</b>	<b>74</b>	<b>36</b>	<b>69</b>	<b>255</b>

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la tabla anterior se obtiene el número de espesores más bajos en las zonas A, B, C D para las tuberías y codos, teniendo así que el punto cardinal en donde se encuentra el mayor número de espesores bajos es en A con un total de 76.

En el siguiente gráfico se tiene que el punto A tiene el mayor porcentaje de espesores más bajos con 30% seguido muy de cerca por la zona B con 29%, el punto D con un 27% y el punto C con 14% de un total de 255 espesores bajos.



**Gráfico 3-3:** Zonas A, B, C, D con espesores bajos del TKR01

Realizado por: Guaylla, J; 2019

### 3.1.13.2 Determinación de zonas de los puntos cardinales ABCD con mayor cantidad de espesores bajos en el TKC02

En la tabla 51-3 se indica los puntos medidos en las tuberías de entrada, salida, y desfogue, codos y tes que se encuentran en este tanque, se detalla además el número de espesores bajos en cada uno de los puntos A, B, C, D.

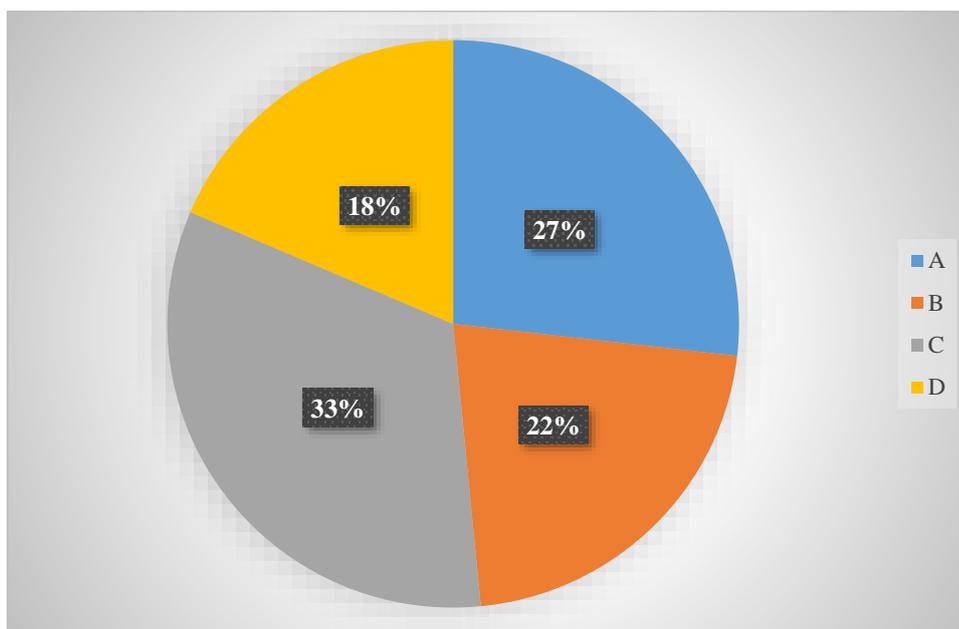
**Tabla. 52-3:** Zonas de espesores más bajos en el tanque TKC02

ENTRADA / SALIDA	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	TUBO / CODO	PUNTOS MEDIDOS	ZONAS BAJAS DE PUNTOS CARDINALES				
				A	B	C	D	TOTAL (ABCD)
salida 1	8	tubo	160	8	8	21	7	44
salida 2	2	tubo	20	0	1	3	1	5
salida 3	2	tubo	20	0	3	2	1	6
salida 4	2	tubo	12	0	2	1	0	3
salida 5	2	tubo	20	1	1	1	2	5
desfogue	4	codo	8	0	2	0	0	2
		te	4	1	0	0	0	1
		tubo	60	4	4	4	5	17
entrada	4	codo	8	2	0	0	0	2
		tubo	48	10	0	0	2	12
<b>TOTAL</b>				<b>26</b>	<b>21</b>	<b>32</b>	<b>18</b>	<b>97</b>

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la tabla anterior se obtiene el número de espesores más bajos en las zonas A, B, C D para las tuberías, codos y tes, teniendo así que el punto cardinal en donde se encuentra el mayor número de espesores bajos es en A con un total de 26.

En el siguiente gráfico se tiene que el punto C tiene el mayor porcentaje de espesores más bajos con 33% seguido de cerca por A con 27%, el punto B con un 22% y el punto D con 18% de un total de 97 espesores bajos.



**Gráfico 4-3:** Zonas A, B, C, D con espesores bajos del TKC02

Realizado por: Guaylla, J; 2019

### 3.1.13.3 Determinación de zonas de los puntos cardinales ABCD con mayor cantidad de espesores bajos en el TKC03

En la tabla 52-3 se indica los puntos medidos en las tuberías de entrada, salida, y desfogue, codos y tes que se encuentran en este tanque, se detalla además el número de espesores bajos en cada uno de los puntos A, B, C, D.

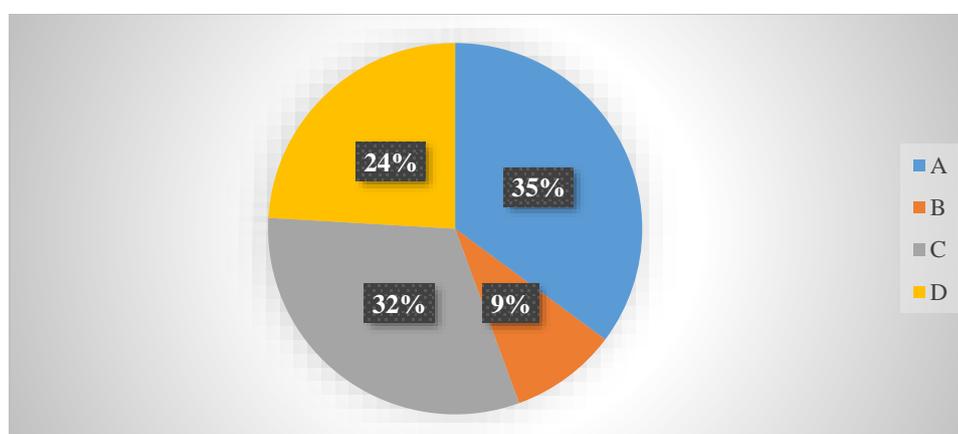
**Tabla. 53-3:** Zonas de espesores más bajos en el tanque TKC03

ENTRADA / SALIDA	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	TUBO / CODO	PUNTOS MEDIDOS	ZONAS BAJAS DE PUNTOS CARDINALES				
				A	B	C	D	TOTAL (ABCD)
salida 1	2	tubo	12	1	1	0	1	3
salida 2	2	tubo	20	0	0	4	1	5
salida 3	2	tubo	20	0	1	3	1	5
salida 4	2	tubo	20	2	0	1	3	6
entrada	4	tubo	24	9	0	1	3	13
		codo	8	0	0	2	0	2
desfogue	4	tubo	60	6	3	5	3	17
		te	4	0	0	0	1	4
		codo	8	1	0	1	0	2
<b>TOTAL</b>				<b>19</b>	<b>5</b>	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>57</b>

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la tabla anterior se obtiene el número de espesores más bajos en las zonas A, B, C D para las tuberías, codos y tes, teniendo así que el punto cardinal en donde se encuentra el mayor número de espesores bajos es en A con un total de 19.

En el siguiente gráfico se tiene que el punto A tiene el mayor porcentaje de espesores más bajos con 35% seguido de C con 32%, el punto D con un 24% y el punto B con 9% de un total de 57 espesores bajos.



**Gráfico 5-3:** Zonas A, B, C, D con espesores bajos del TKC03

Realizado por: Guaylla, J; 2019

### 3.1.13.4 Determinación de zonas de los puntos cardinales ABCD con mayor cantidad de espesores bajos en el TKC04

En la tabla 53-3 se indica los puntos medidos en las tuberías de entrada, salida, y desfogue, codos y tes que se encuentran en este tanque, se detalla además el número de espesores bajos en cada uno de los puntos A, B, C, D.

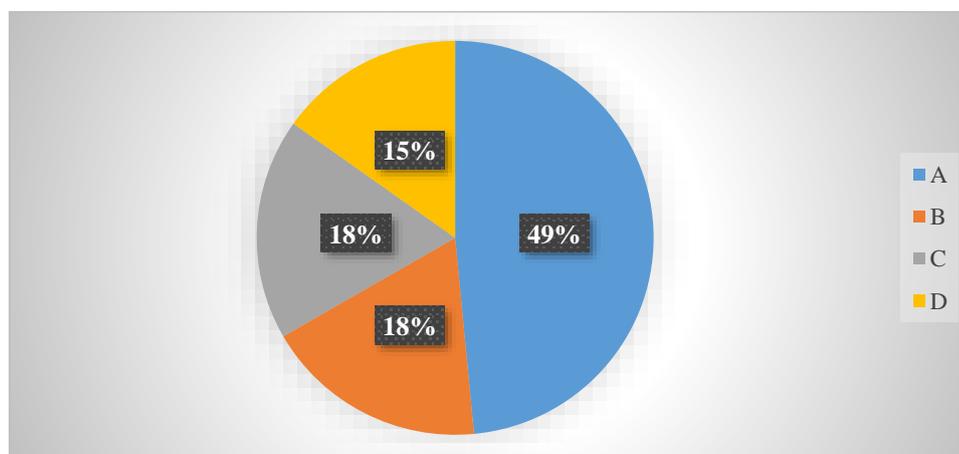
**Tabla. 54-3:** Zonas de espesores más bajos en el tanque TKC04

ENTRADA / SALIDA	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	TUBO / CODO	PUNTOS MEDIDOS	ZONAS BAJAS DE PUNTOS CARDINALES				TOTAL (ABCD)
				A	B	C	D	
entrada	3	tubo	36	1	4	3	2	10
		codo	4	0	0	0	1	1
salida	2	tubo	52	9	0	3	1	13
		te	4	0	1	0	0	1
		codo	8	1	1	0	0	2
desfogue	3	tubo	20	5	0	0	0	5
		codo	4	0	0	0	1	1
<b>TOTAL</b>				<b>16</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>33</b>

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la tabla anterior se obtiene el número de espesores más bajos en las zonas A, B, C, D para las tuberías, codos y tes, teniendo así que el punto cardinal en donde se encuentra el mayor número de espesores bajos es en A con un total de 16.

En el siguiente gráfico se tiene que el punto A tiene el mayor porcentaje de espesores más bajos con 49% seguido de B y C con 18% cada uno y el punto D con 15% de un total de 33 espesores bajos.



**Gráfico 6-3:** Zonas A, B, C, D con espesores bajos del TKC04

Realizado por: Guaylla, J; 2019

### 3.1.13.5 Determinación de zonas de los puntos cardinales ABCD con mayor cantidad de espesores bajos en el TKC05

En la tabla 54-3 se indica los puntos medidos en las tuberías de entrada, salida, desfogue y codos que se encuentran en este tanque, se detalla además el número de espesores bajos en cada uno de los puntos A, B, C, D.

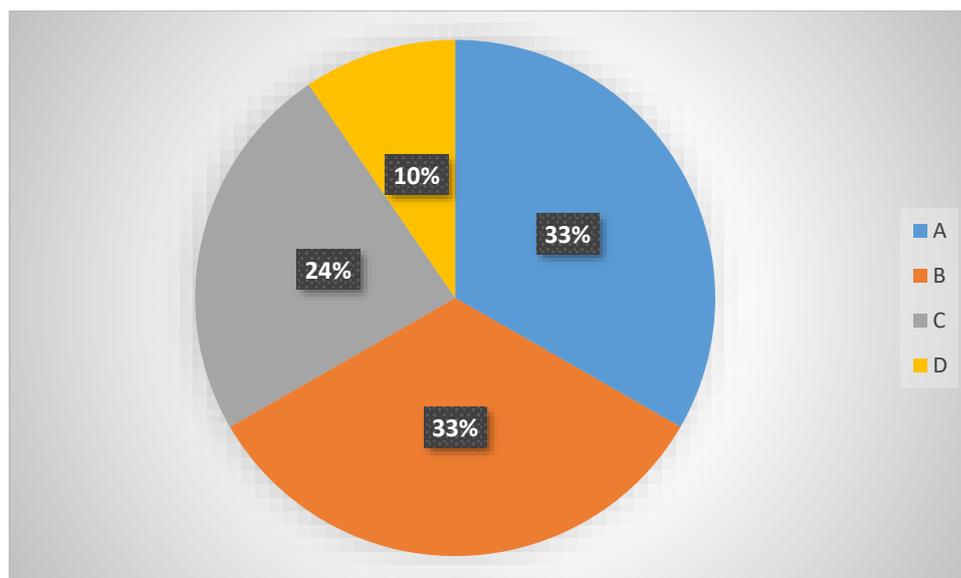
**Tabla. 55-3:** Zonas de espesores más bajos en el tanque TKC05

ENTRADA/ SALIDA	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	TUBO / CODO	PUNTOS MEDIDOS	ZONAS BAJAS DE PUNTOS CARDINALES				
				A	B	C	D	TOTAL (ABCD)
entrada	3	tubo	52	7	5	2	1	15
		codo	8	0	0	2	0	2
salida	3	tubo	12	0	2	1	1	4
<b>TOTAL</b>				<b>7</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>21</b>

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la tabla anterior se obtiene el número de espesores más bajos en las zonas A, B, C, D para las tuberías y codos, teniendo así que el punto cardinal en donde se encuentra el mayor número de espesores bajos es en A y B con un total de 7 en cada uno.

En el siguiente gráfico se tiene que el punto A y B tienen el mayor porcentaje de espesores bajos con 33% seguido de B y C con 33% en cada uno, seguido de C con 24% y el punto D con 10% de un total de 21 espesores bajos.



**Gráfico 7-3:** Zonas A, B, C, D con espesores bajos del TKC05

Realizado por: Guaylla, J; 2019

**3.1.13.6 Determinación de zonas de los puntos cardinales ABCD con mayor cantidad de espesores bajos en el TKR06**

En la tabla 55-3 se indica los puntos medidos en la tubería de entrada y codos que se encuentran en este tanque, se detalla además el número de espesores bajos en cada uno de los puntos A, B, C, D.

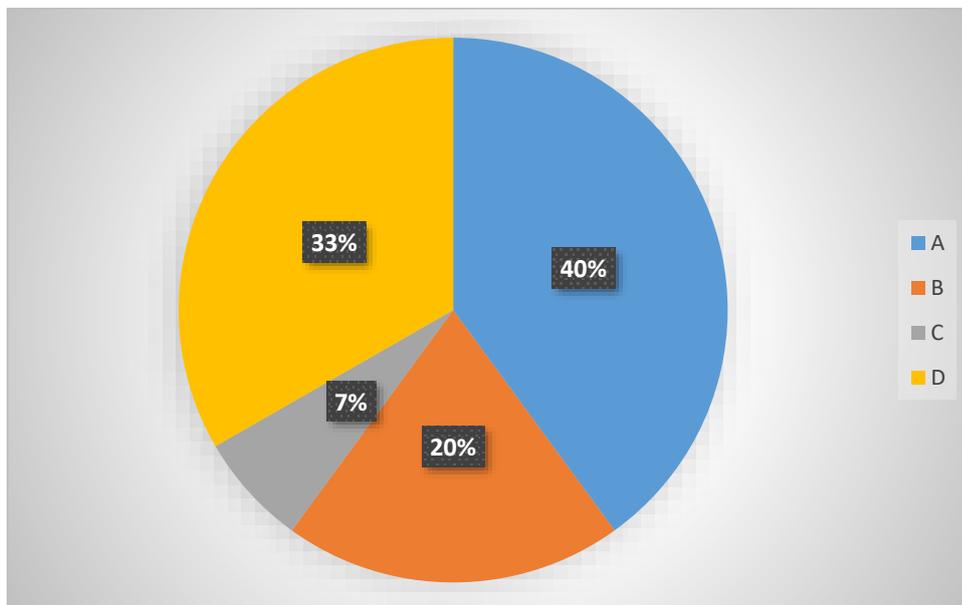
**Tabla. 56-3:** Zonas de espesores más bajos en el tanque TKR06

ENTRADA/ SALIDA	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	TUBO / CODO	PUNTOS MEDIDOS	ZONAS BAJAS DE PUNTOS CARDINALES				
				A	B	C	D	TOTAL (ABCD)
entrada	2	tubo	36	5	2	1	5	13
		codo	8	1	1	0	0	2
<b>TOTAL</b>				<b>6</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>15</b>

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la tabla anterior se obtiene el número de espesores más bajos en las zonas A, B, C, D para las tuberías y codos, teniendo así que el punto cardinal en donde se encuentra el mayor número de espesores bajos es en A con un total de 6.

En el siguiente gráfico se tiene que el punto A tiene el mayor porcentaje de espesores bajos con 40%, seguido de B con 20%, D con 33% y al final C con 7% de un total de 15 espesores bajos.



**Gráfico 8-3:** Zonas A, B, C, D con espesores bajos del TKR06

Realizado por: Guaylla, J; 2019

### 3.1.13.7 Determinación de zonas de los puntos cardinales ABCD con mayor cantidad de espesores bajos en el TKC07

En la tabla 56-3 se muestra los puntos medidos en las tuberías de entrada, salida, desfogue y codos que se encuentran en este tanque, se detalla además el número de espesores bajos en cada uno de los puntos A, B, C, D.

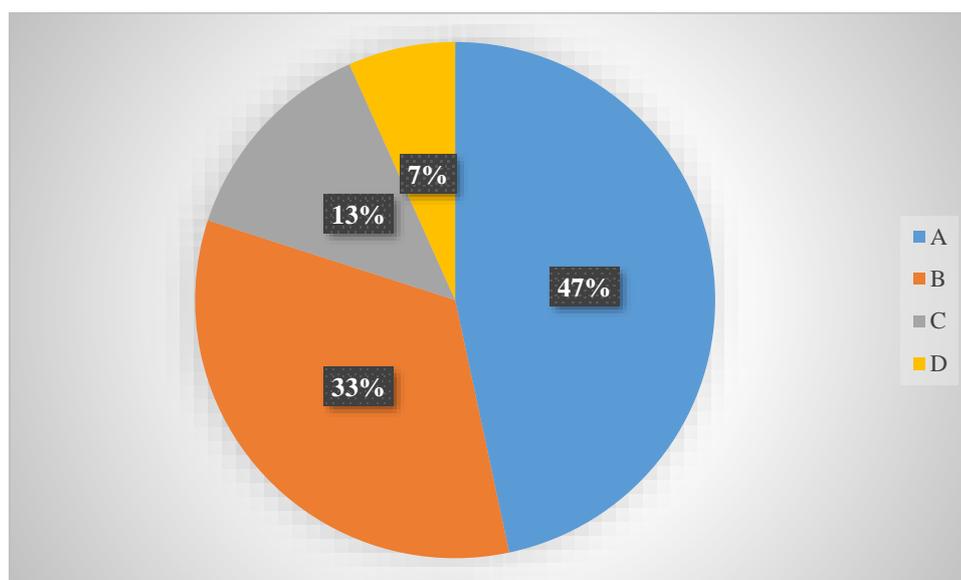
**Tabla. 57-3:** Zonas de espesores más bajos en el tanque TKC07

ENTRADA/ SALIDA	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	TUBO / CODO	PUNTOS MEDIDOS	ZONAS BAJAS DE PUNTOS CARDINALES				TOTAL (ABCD)
				A	B	C	D	
entrada	2	tubo	40	4	5	3	1	13
		codo	8	2	0	0	0	2
salida	2	tubo	20	2	2	1	1	6
salida	2	tubo	20	4	1	0	0	5
desfogue	2	tubo	12	2	1	0	0	3
		codo	4	0	1	0	0	1
<b>TOTAL</b>				<b>14</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>30</b>

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la tabla anterior se obtiene el número de espesores más bajos en las zonas A, B, C, D para las tuberías y codos, teniendo así que el punto cardinal en donde se encuentra el mayor número de espesores bajos es en A con un total de 14.

En el siguiente gráfico se tiene que el punto A tiene el mayor porcentaje de espesores bajos con 47%, seguido de B con 33%, C con 13% y al final D con 7% de un total de 30 espesores bajos.



**Gráfico 9-3:** Zonas A, B, C, D con espesores bajos del TKC07

Realizado por: Guaylla, J; 2019

**3.1.13.8 Determinación de zonas de los puntos cardinales ABCD con mayor cantidad de espesores bajos en el TKC08**

En la tabla 57-3 se indica los puntos medidos en las tuberías de salida, desfogue y codos que se encuentran en este tanque, se detalla además el número de espesores bajos en cada uno de los puntos A, B, C, D.

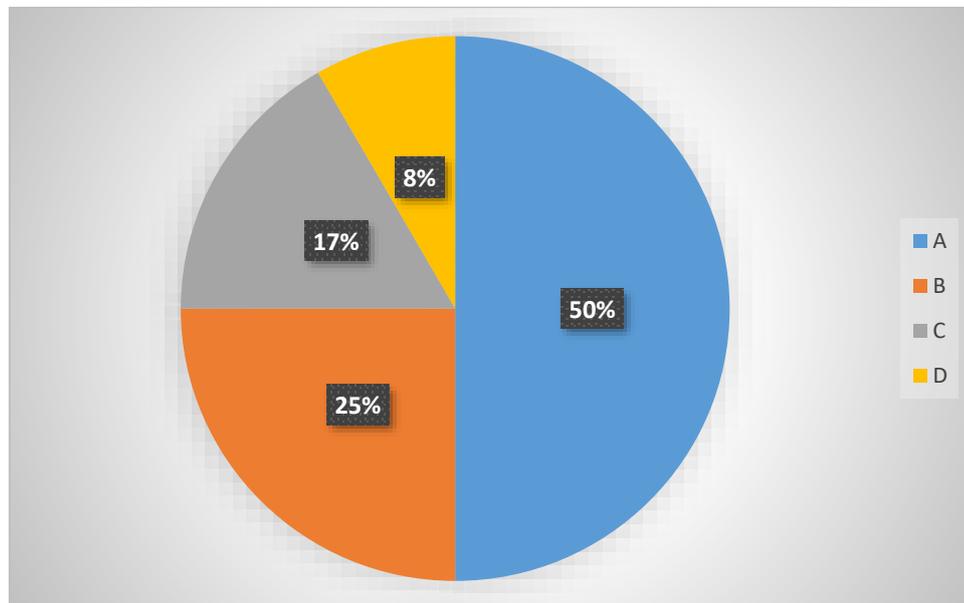
**Tabla. 58-3:** Zonas de espesores más bajos en el tanque TKC08

ENTRADA/ SALIDA	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	TUBO / CODO	PUNTOS MEDIDOS	ZONAS BAJAS DE PUNTOS CARDINALES				
				A	B	C	D	TOTAL (ABCD)
salida	2	tubo	20	3	2	1	1	7
desfogue	2	tubo	8	3	1	1	0	5
<b>TOTAL</b>				<b>6</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>12</b>

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la tabla anterior se obtiene el número de espesores más bajos en las zonas A, B, C, D para las tuberías y codos, teniendo así que el punto cardinal en donde se encuentra el mayor número de espesores bajos es en A con un total de 6.

En el siguiente gráfico se tiene que el punto A tiene el mayor porcentaje de espesores bajos con 50%, seguido de B con 25%, C con 17% y al final D con 8% de un total de 12 espesores bajos.



**Gráfico 10-3:** Zonas A, B, C, D con espesores bajos del TKC08

Realizado por: Guaylla, J; 2019

**3.1.13.9 Determinación de zonas de los puntos cardinales ABCD con mayor cantidad de espesores bajos en el TKR09**

En la tabla 58-3 se indica los puntos medidos en la tubería de salida y codos que se encuentran en este tanque, se detalla además el número de espesores bajos en cada uno de los puntos A, B, C, D.

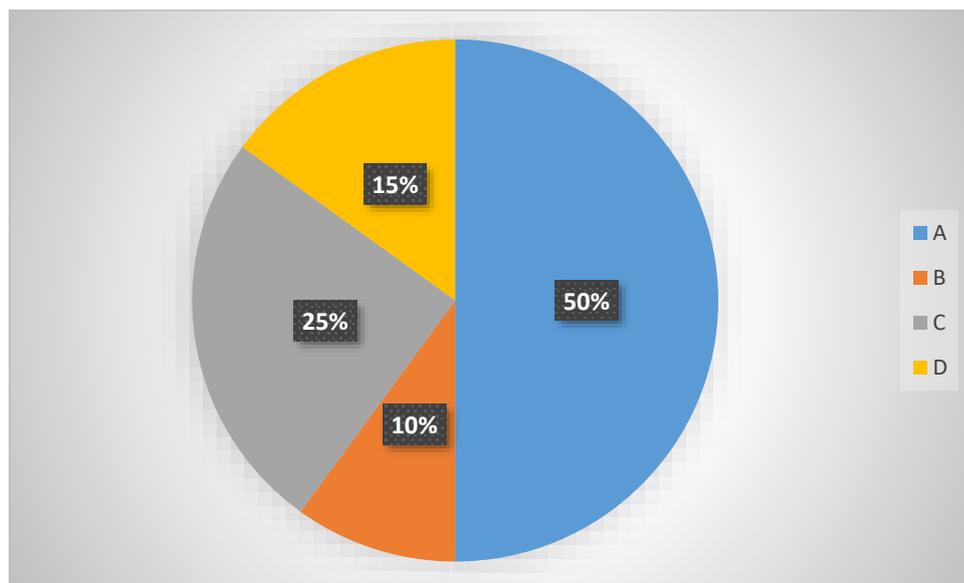
**Tabla. 59-3:** Zonas de espesores más bajos en el tanque TKR09

ENTRADA/ SALIDA	DIÁMETRO DE TUBERÍA (in)	TUBO / CODO	PUNTOS MEDIDOS	ZONAS BAJAS DE PUNTOS CARDINALES				TOTAL (ABCD)
				A	B	C	D	
salida	3	tubo	14	6	2	3	3	14
		codo	5	3	0	2	0	5
		te	1	1	0	0	0	1
<b>TOTAL</b>				<b>10</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>14</b>

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la tabla anterior se obtiene el número de espesores más bajos en las zonas A, B, C, D para las tuberías y codos, teniendo así que el punto cardinal en donde se encuentra el mayor número de espesores bajos es en A con un total de 10.

En el siguiente gráfico se tiene que el punto A tiene el mayor porcentaje de espesores bajos con 50%, seguido de C con 25%, B con 10% y al final D con 15% de un total de 14 espesores bajos.



**Gráfico 11-3:** Zonas A, B, C, D con espesores bajos del TKR09

Realizado por: Guaylla, J; 2019

### 3.1.14 Comparación de espesor mínimo obtenido con espesor mínimo requerido

La comparación de espesores se hace con el fin de contrastar los diferentes espesores mínimos medidos con los espesores mínimos requeridos de las tuberías de cada tanque tanto para las de 50 mm, 75 mm y 100 mm de diámetro.

#### 3.1.14.1 Comparación de espesor obtenido con espesor medido de 50mm

En la tabla 59-3 se tiene el número de tanque y el espesor mínimo requerido y espesor mínimo medido de las tuberías de 50 mm de diámetro que se encuentran en los diferentes tanques.

**Tabla. 60-3:** Espesores requeridos con espesores medidos de D= 50mm

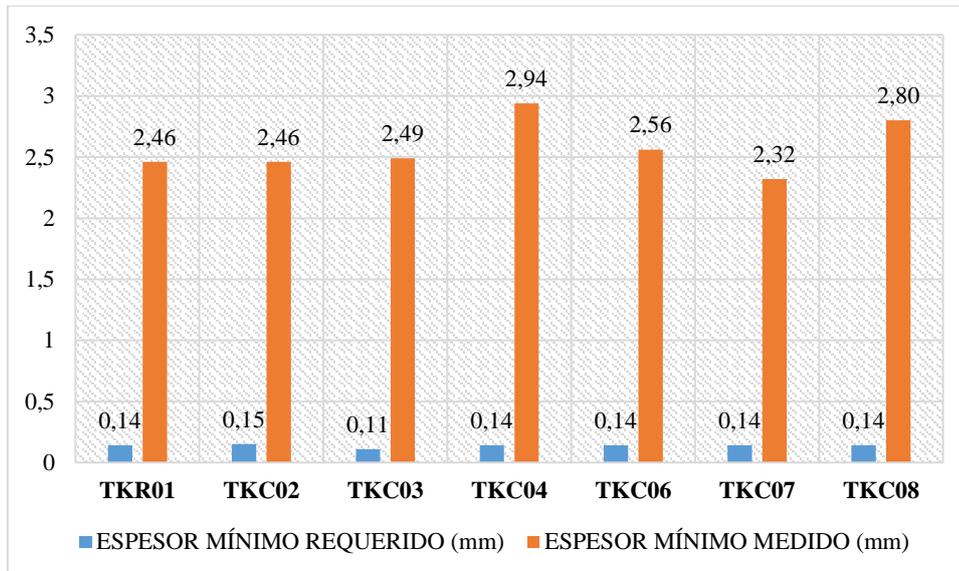
CÓDIGO	DIÁMETRO (mm)	DIÁMETRO (in)	ESPESOR MÍNIMO REQUERIDO (mm)	ESPESOR MÍNIMO MEDIDO (mm)
TKR01	50	2	0,14	2,46
TKC02	50	2	0,15	2,46
TKC03	50	2	0,11	2,49
TKC04	50	2	0,14	2,94
TKC06	50	2	0,14	2,56
TKC07	50	2	0,14	2,32
TKC08	50	2	0,14	2,8

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la tabla anterior se tiene que los valores de espesor mínimo requerido son muy bajos en comparación con los valores de espesor mínimo requerido, comprendiendo así que hay una variación considerable entre estos 2.

En la siguiente gráfica se representa la relación que existe entre el espesor mínimo requerido con el espesor medido, los espesores requeridos están entre los valores de 0,14 a 0,15 mm, exceptuando el valor de 0,11, los valores de los espesores medidos están entre 2,31 a 2,94 mm.

Tal como se puede constatar en la siguiente gráfica se tiene que el espesor medido más bajo se encuentra en el TKC07 y el espesor más bajo requerido se encuentra en el TKC03.



**Gráfico 12-3:** Esesor medido y esesor requerido de tuberías con D=50 mm  
Realizado por: Guaylla, J; 2019

### 3.1.14.2 Comparación de esesor obtenido con esesor medido de 75mm

En la tabla 60-3 se tiene el número de tanque y el esesor mínimo requerido y esesor mínimo medido de las tuberías de 75 mm de diámetro que se encuentran en los diferentes tanques.

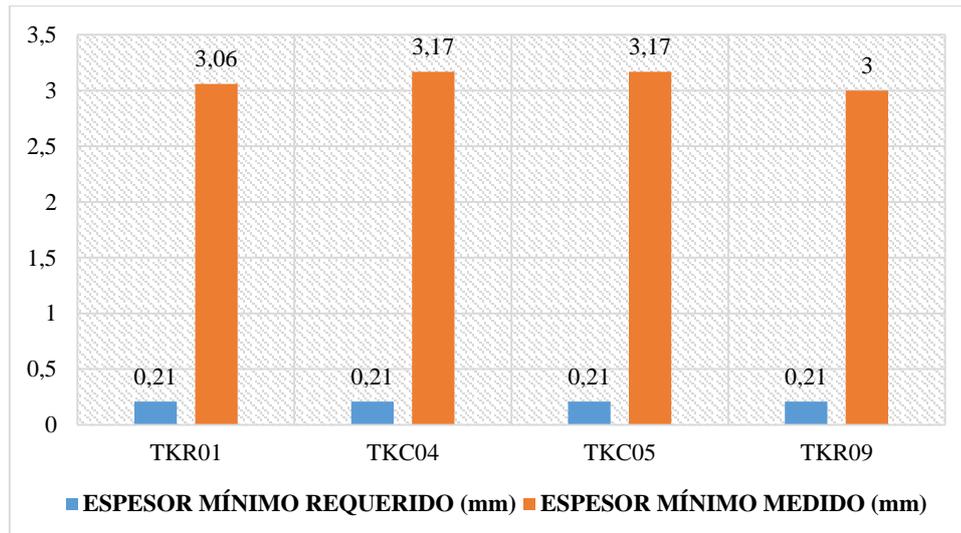
**Tabla. 61-3:** Comparación de esesor calculado vs esesor medido con D= 75mm

CÓDIGO	DIÁMETRO (mm)	DIÁMETRO (in)	ESPESOR MÍNIMO REQUERIDO (mm)	ESPESOR MÍNIMO MEDIDO (mm)
TKR01	75	3	0,21	3,06
TKC04	75	3	0,21	3,17
TKC05	75	3	0,21	3,17
TKR09	75	3	0,21	3

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la tabla anterior se tiene que los valores de esesor mínimo requerido son muy bajos en comparación con los valores de esesor mínimo requerido, comprendiendo así que hay una variación considerable entre estos 2.

En la siguiente gráfica se representa la relación que existe entre el esesor mínimo requerido con el esesor medido, los espesores requeridos tienen un valor constante de 0,21 mm, en tanto que los valores de los espesores medidos están entre 3 mm a 3,17 mm.



**Gráfico 13-3:** Esesor medido y esesor requerido de tuberías con D=75 mm  
 Realizado por: Guaylla, J; 2019

Tal como se puede constatar en la gráfica anterior se tiene que el esesor medido es constante en el TKR01, TKC04, TKC05 Y TKR09 y el esesor más bajo requerido se encuentra en el TKR09.

### 3.1.14.3 Comparación de esesor obtenido con esesor medido de 100mm

En la tabla 61-3 se tiene el número de tanque y el esesor mínimo requerido y esesor mínimo medido de las tuberías de 100 mm de diámetro que se encuentran en los diferentes tanques.

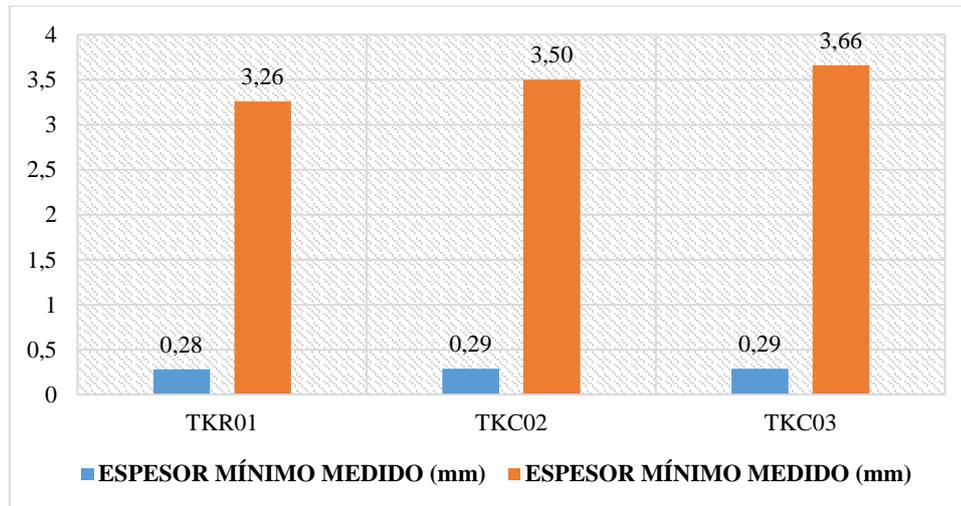
**Tabla. 62-3:** Comparación de esesor calculado vs esesor medido con D= 100mm

CÓDIGO	DIÁMETRO (mm)	DIÁMETRO (in)	ESPEJOR MÍNIMO REQUERIDO (mm)	ESPEJOR MÍNIMO MEDIDO (mm)
TKR01	100	4	0,28	3,26
TKC02	100	4	0,29	3,50
TKC03	100	4	0,29	3,66

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la tabla anterior se tiene que los valores de esesor mínimo requerido son muy bajos en comparación con los valores de esesor mínimo medido, comprendiendo así que hay una variación considerable entre estos 2.

En la siguiente gráfica se representa la relación que existe entre el esesor mínimo requerido con el esesor medido, los espesores requeridos están entre los valores de 0,28 a 0,29 mm, exceptuando el valor de 0,11, los valores de los espesores medidos están entre 3,26 a 3,66 mm.



**Gráfico 14-3:** Esesor medido y esesor requerido de tuberías con D=100 mm  
 Realizado por: Guaylla, J; 2019

Tal como se puede constatar en la gráfica anterior se tiene que el esesor medido es constante en el TKR01, TKC02 y TKC03 y el esesor más bajo requerido se encuentra en el TKR01.

### 3.1.15 Cálculo de la vida útil de la tubería según diseño

La vida útil es el intervalo de tiempo para que desarrolle una función requerida un elemento, que en este caso son las tuberías, el cálculo es en años, en base a la fórmula:

$$\text{Vida restante} = \frac{t \text{ real (mm)} - t \text{ requerido (mm)}}{\text{velocidad de desgaste (mm/años)}} \quad (4)$$

La fórmula (4) se utiliza para el cálculo de vida útil de las tuberías que son objeto de estudio, la cual es directamente proporcional a la diferencia entre el esesor medido con el esesor requerido e inversamente proporcional a la velocidad del desgaste. Esto indica que a medida que aumenta la velocidad de desgaste o la diferencia entre el esesor medido con el esesor requerido es bajo la vida útil disminuye.

En las siguientes tablas se presenta la vida útil en cada una de las tuberías de cada tanque.

#### 3.1.15.1 Vida útil de las tuberías del TKR01

En la siguiente tabla se tiene la vida útil en años de las tuberías de entrada y salida de 50 mm (2 in), 75 mm (3 in) y 100 mm (4 in) de diámetro que posee este tanque.

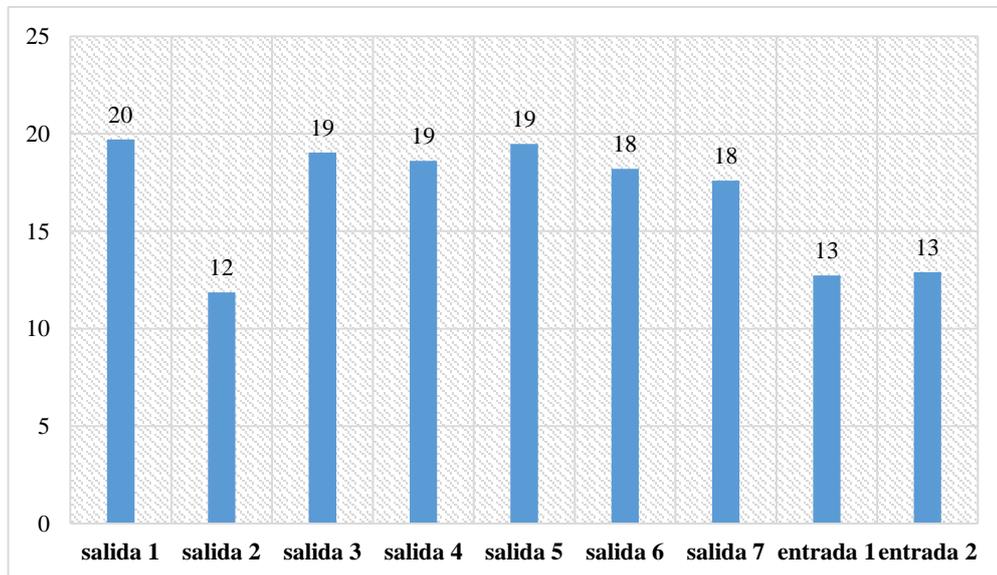
**Tabla. 63-3:** Vida útil de tuberías del TKR01

ENTRADA/ SALIDA	DIÁMETRO (mm)	DIÁMETRO (in)	ESPEJOR MÍNIMO MEDIDO (mm)	ESPEJOR MÍNIMO REQUERIDO (mm)	DESGASTE OCURRIDO (mm/año)	VIDA ÚTIL (años)
salida 1	50	2	2,56	0,14	0,12	20
salida 2	100	4	3,26	0,28	0,25	12
salida 3	50	2	2,53	0,14	0,13	19
salida 4	50	2	2,51	0,14	0,13	19
salida 5	50	2	2,55	0,14	0,12	19
salida 6	50	2	2,49	0,14	0,13	18
salida 7	50	2	2,46	0,14	0,13	18
entrada 1	100	4	3,36	0,28	0,24	13
entrada 2	75	3	3,06	0,21	0,22	13

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la tabla anterior se tiene que la vida útil de las tuberías de 50 mm (2 in) es de 18 a 20 años, para la de 75 mm (3 in) es de 13 años y para las de 100 mm (4 in) es de 12 a 13 años.

En la siguiente gráfica se tiene la vida útil de cada una de las tuberías en donde se verifica cuáles son las tuberías que tienen mayor y menor vida útil.



**Gráfico 15-3:** Vida útil (años) de tuberías del TKR01

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la gráfica anterior se tiene que en la salida 2 y entrada 1 y 2 que son de 75 mm (3 in) y 100 mm de diámetro (4 in) tienen una vida útil menor en comparación a las tuberías de 50 mm de diámetro.

### 3.1.15.2 Vida útil de las tuberías del TKC02

En la siguiente tabla se tiene la vida útil en años de las tuberías de entrada, salida y desfogue de 50 mm (2 in), 100 mm (4 in) y 200 mm (8 in) de diámetro que posee este tanque.

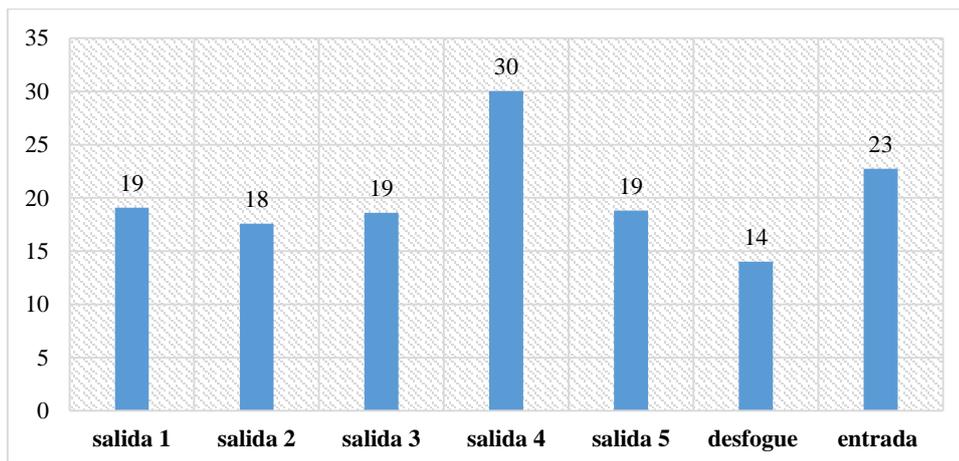
**Tabla. 64-3:** Vida útil de tuberías del TKC02

ENTRADA/ SALIDA/ DESFOGUE	DIÁMETRO (mm)	ESPESOR MÍNIMO MEDIDO (mm)	ESPESOR MÍNIMO REQUERIDO (mm)	DESGASTE OCURRIDO (mm/año)	VIDA ÚTIL (años)
salida 1	200	3,02	0,57	0,30	8
salida 2	50	2,46	0,14	0,13	18
salida 3	50	2,51	0,14	0,13	19
salida 4	50	2,90	0,14	0,09	30
salida 5	50	2,52	0,14	0,13	19
desfogue	100	3,50	0,29	0,23	14
entrada	100	4,15	0,29	0,17	23

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la tabla anterior se tiene que la vida útil de las tuberías de 50 mm (2 in) es de 18 a 30 años, para las de 100 mm (4 in) es de 14 y 13 años y para la de 200 mm (8 in) es de 19 años.

En la siguiente gráfica se tiene la vida útil de cada una de las tuberías en donde se verifica cuáles son las tuberías que tienen mayor y menor vida útil.



**Gráfico 16-3:** Vida útil (años) de tuberías del TKC02

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la gráfica anterior se tiene que la vida útil de la tubería de desfogue de 100 mm (4 in) de diámetro es menor al resto de tuberías y la tubería de salida 4 de 50 mm (2 in) de diámetro es la que tiene mayor vida útil.

### 3.1.15.3 Vida útil de las tuberías del TKC03

En la siguiente tabla se tiene la vida útil en años de las tuberías de entrada, salida y desfogue de 50 mm (2 in) y 100 mm (4 in) de diámetro que posee este tanque.

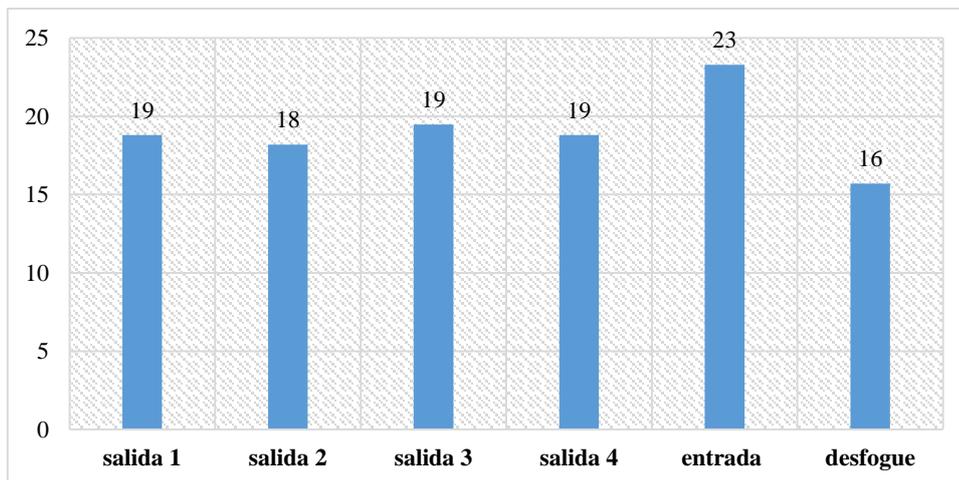
**Tabla. 65-3:** Vida útil de tuberías del TKC03

ENTRADA/ SALIDA/ DESFOGUE	DIÁMETRO (mm)	DIÁMETRO (in)	ESPESOR MÍNIMO MEDIDO (mm)	ESPESOR MÍNIMO REQUERIDO (mm)	DESGASTE OCURRIDO (mm/año)	VIDA ÚTIL (años)
salida 1	50	2	2,52	0,14	0,13	19
salida 2	50	2	2,49	0,14	0,13	18
salida 3	50	2	2,55	0,14	0,12	19
salida 4	50	2	2,52	0,14	0,13	19
entrada	100	4	4,18	0,29	0,17	23
desfogue	100	4	3,66	0,14	0,21	16

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la tabla anterior se tiene que la vida útil de las tuberías de 50 mm (2 in) es de 18 a 19 años, y para las de 100 mm (4 in) es de 16 a 23 años.

En la siguiente gráfica se tiene la vida útil de cada una de las tuberías en donde se verifica cuáles son las tuberías que tienen mayor y menor vida útil.



**Gráfico 17-3:** Vida útil (años) de tuberías del TKC03

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la gráfica anterior se tiene que la tubería de desfogue de 100 mm (4 in) es menor al resto de tuberías y la que tiene mayor vida útil es la tubería de entrada de 100 mm (4 in).

### 3.1.15.4 Vida útil de las tuberías del TKC04

En la siguiente tabla se tiene la vida útil en años de las tuberías de entrada, salida y desfogue de 50 mm (2 in) y 100 mm (4 in) de diámetro que posee este tanque.

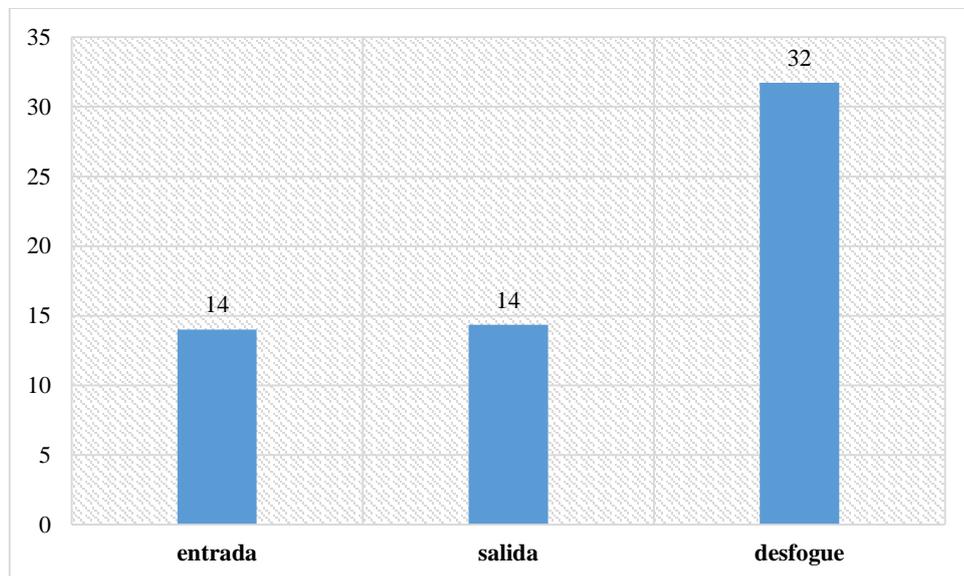
**Tabla. 66-3:** Vida útil de tuberías del TKC04

ENTRADA/ SALIDA / DESFOGUE	DIÁMETRO (mm)	DIÁMETRO (in)	ESPEJOR MÍNIMO MEDIDO (mm)	ESPEJOR MÍNIMO REQUERIDO (mm)	DESGASTE OCURRIDO (mm/año)	VIDA ÚTIL (años)
entrada	50	2	3,17	0,21	0,21	14
salida	100	4	3,20	0,21	0,20	15
desfogue	100	4	2,94	0,14	0,09	32

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la tabla anterior se tiene que la vida útil de la tubería de 50 mm (2 in) es de 14 años, y para las de 100 mm (4 in) es de 15 y 32 años.

En la siguiente gráfica se tiene la vida útil de cada una de las tuberías en donde se verifica cuáles son las tuberías que tienen mayor y menor vida útil.



**Gráfico 18-4:** Vida útil (años) de tuberías del TKC04

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la gráfica anterior se tiene que las tuberías de entrada y salida de 50 mm (2in) y 100 mm (4 in) son menores en comparación a la vida útil de la tubería de desfogue de 100 mm (4 in).

### 3.1.15.5 Vida útil de las tuberías del TKC05

En la siguiente tabla se tiene la vida útil en años de las tuberías de entrada y salida de 50 mm (2 in) y 100 mm (4 in) de diámetro que posee este tanque.

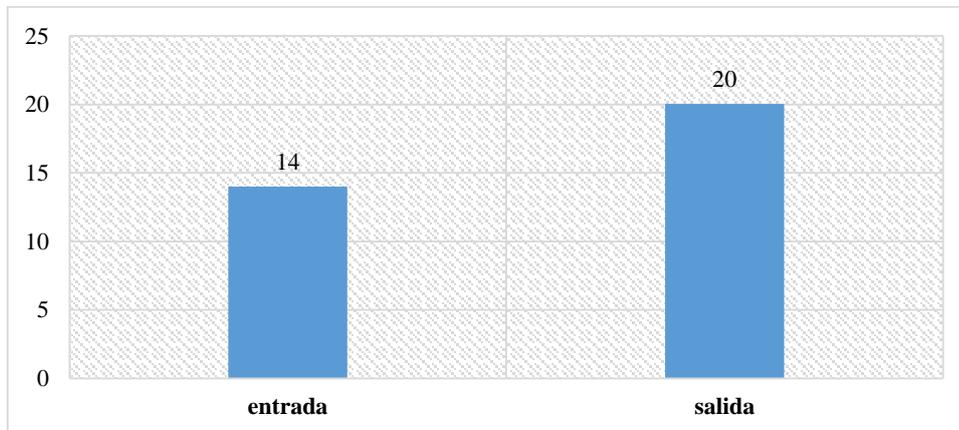
**Tabla. 67-3:** Vida útil de tuberías del TKC05

ENTRADA/ SALIDA / DESFOGUE	DIÁMETRO (mm)	ESPEJOR MÍNIMO MEDIDO (mm)	ESPEJOR MÍNIMO REQUERIDO (mm)	DESGASTE OCURRIDO (mm/año)	VIDA ÚTIL (años)
entrada	50	3,17	0,21	0,21	14
salida	100	3,62	0,21	0,17	20

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la tabla anterior se tiene que la vida útil de la tubería de 50 mm (2 in) es de 14 años, y para la de 100 mm (4 in) es de 20 años.

En la siguiente gráfica se tiene la vida útil de cada una de las tuberías en donde se verifica cuáles son las tuberías que tienen mayor y menor vida útil.



**Gráfico 19-3:** Vida útil (años) de tuberías del TKC05

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la gráfica anterior se tiene que en la tubería de entrada que es de 50 mm (2in) es menor a la tubería de salida de 100 mm (4 in).

### 3.1.15.6 Vida útil de las tuberías del TKR06

En la siguiente tabla se tiene la vida útil en años de la tubería de entrada de 50 mm (2 in) de diámetro de este tanque.

**Tabla. 68-3:** Vida útil de tuberías del TKR06

ENTRADA / SALIDA / DESFOGUE	DIÁMETRO (mm)	DIÁMETRO (in)	ESPEJOR MÍNIMO MEDIDO (mm)	ESPEJOR MÍNIMO REQUERIDO (mm)	DESGASTE OCURRIDO (mm/año)	VIDA ÚTIL (años)
entrada	50	2	4,12	0,14	0,12	32

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior se tiene que la vida útil para la tubería de entrada es de 32 años.

### 3.1.15.7 Vida útil de las tuberías del TKC07

En la siguiente tabla se tiene la vida útil en años de las tuberías de entrada, salida y desfogue de 50 mm (2 in) y 100 mm (4 in) de diámetro que posee este tanque.

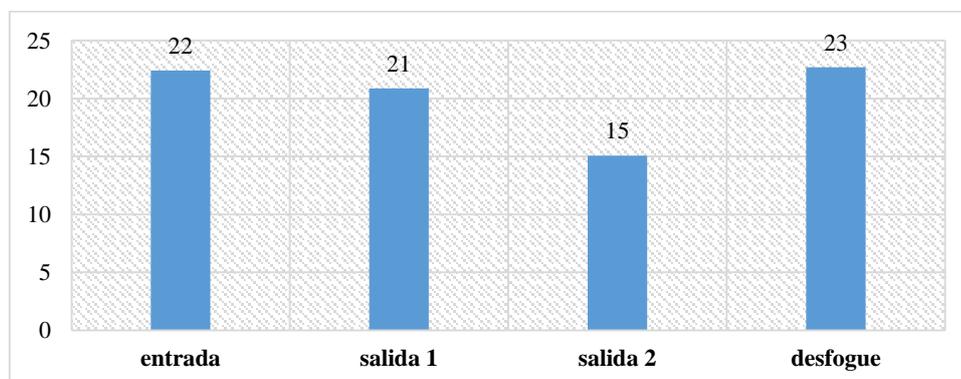
**Tabla. 69-3:** Vida útil de tuberías del TKC07

ENTRADA/ SALIDA / DESFOGUE	DIÁMETRO (mm)	DIÁMETRO (mm)	ESPEJOR MÍNIMO MEDIDO (mm)	ESPEJOR MÍNIMO REQUERIDO (mm)	DESGASTE OCURRIDO (mm/año)	VIDA ÚTIL (años)
entrada	50	2	2,67	0,14	0,11	22
salida 1	50	2	2,61	0,14	0,12	21
salida 2	50	2	2,32	0,14	0,14	15
desfogue	100	4	2,68	0,14	0,11	23

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la tabla anterior se tiene que la vida útil de las tuberías de 50 mm (2 in) es de 15 a 22 años, y para la de 100 mm (4 in) es de 23 años.

En la siguiente gráfica se tiene la vida útil de cada una de las tuberías en donde se verifica cuáles son las tuberías que tienen mayor y menor vida útil.



**Gráfico 20-3:** Vida útil (años) de tuberías del TKC07

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la gráfica anterior se tiene que la tubería de salida 2 de 50 mm (2in) es menor a las tuberías de entrada, salida 1 y desfogue de 50 mm (2 in) y 100 mm (4 in).

### 3.1.15.8 Vida útil de las tuberías del TKC08

En la siguiente tabla se tiene la vida útil en años de las tuberías de salida y desfogue de 50 mm (2 in) y 100 mm (4 in) de diámetro que posee este tanque.

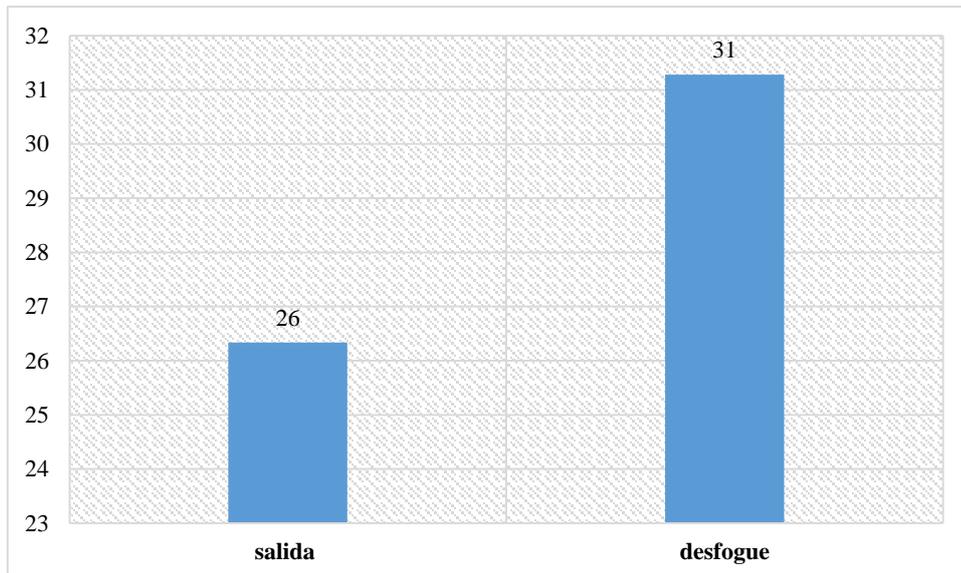
**Tabla. 70-3:** Vida útil de tuberías del TKC08

ENTRADA/ SALIDA / DESFOGUE	DIÁMETRO (mm)	DIÁMETRO (in)	ESPEJOR MÍNIMO MEDIDO (mm)	ESPEJOR MÍNIMO REQUERIDO (mm)	DESGASTE OCURRIDO (mm/año)	VIDA ÚTIL (años)
salida	50	2	2,80	0,14	0,10	26
desfogue	100	4	2,93	0,14	0,09	31

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la tabla anterior se tiene que la vida útil de la tubería de 50 mm (2 in) es de 26 años, y para la de 100 mm (4 in) es de 31 años.

En la siguiente gráfica se tiene la vida útil de cada una de las tuberías en donde se verifica cuáles son las tuberías que tienen mayor y menor vida útil.



**Gráfico 21-3:** Vida útil (años) de tuberías del TKC08

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la gráfica anterior se tiene que la tubería de salida de 50 mm (2 in) es menor a la tubería de desfogue de 100 mm (2 in).

### 3.1.15.9 Vida útil de las tuberías del TKR09

En la siguiente tabla se tiene la vida útil en años de la tubería de salida de 75 mm de diámetro de este tanque.

**Tabla. 71-3:** Vida útil de tuberías del TKR09

<b>ENTRADA / SALIDA / DESFOGUE</b>	<b>DIÁMETRO (mm)</b>	<b>DIÁMETRO (mm)</b>	<b>ESPELOR MÍNIMO MEDIDO (mm)</b>	<b>ESPELOR MÍNIMO REQUERIDO (mm)</b>	<b>DESGASTE OCURRIDO (mm/año)</b>	<b>VIDA ÚTIL (años)</b>
salida	50	2	3,00	0,21	0,23	12

Realizado por: Guaylla, J; 2019

En la tabla anterior se evidencia que la vida útil para la tubería de salida es de 12 años.

### 3.1.16 Cálculo del desgaste ocurrido desde su construcción hasta la actualidad

El desgaste tiende a aumentar a medida que se incrementa el tiempo de operación de un elemento, conduciendo así a una pérdida de material que para nuestro caso será la disminución de espesores en las tuberías de los tanques de almacenamiento. Para el cálculo del desgaste se considera los siguientes parámetros:

- Espesor mínimo medido.
- Espesor mínimo requerido.
- Tiempo de operación o años transcurridos.

El cálculo del desgaste se hace en base a cada una de las tuberías de entrada, salida y desfogue de los tanques de almacenamiento, para lo cual se clasifica a las tuberías según su diámetro.

#### 3.1.16.1 Tasa de desgaste ocurrido desde su construcción hasta la actualidad del TKR01

En este tanque se tiene 7 tuberías de salida y 2 de entrada de acuerdo a lo que se detalla en la tabla 71-3 para la cual se calcula el desgaste en cada una de estas tuberías.

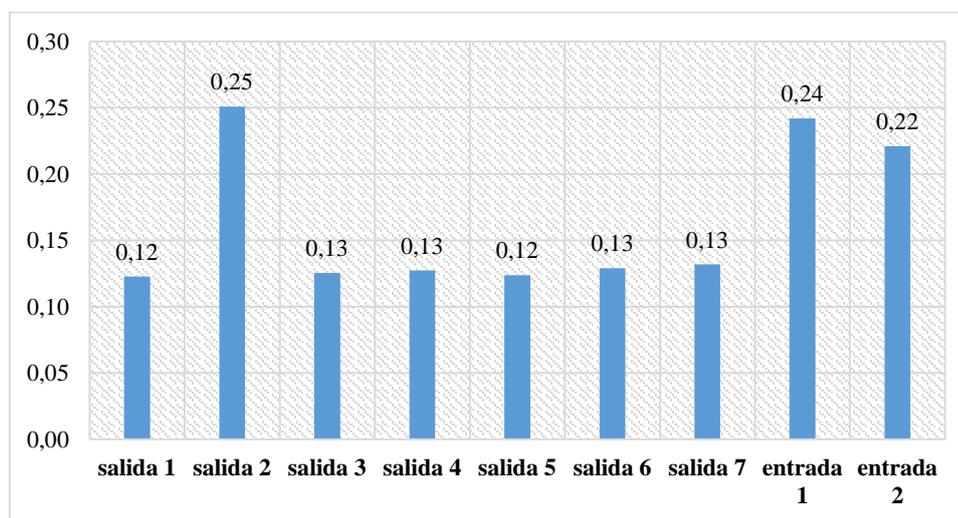
**Tabla. 72-3:** Desgaste de tuberías del TKR01

ENTRADA/ SALIDA	DIÁMETRO (mm)	ESPESOR INICIAL (mm)	ESPESOR MÍNIMO REAL (mm)	AÑOS TRANSCURRIDOS (años)	TASA DE DESGASTE (mm/año)
salida 1	50	3,91	2,56	11	0,12
salida 2	100	6,02	3,26	11	0,25
salida 3	50	3,91	2,53	11	0,13
salida 4	50	3,91	2,51	11	0,13
salida 5	50	3,91	2,55	11	0,12
salida 6	50	3,91	2,49	11	0,13
salida 7	50	3,91	2,46	11	0,13
entrada 1	100	6,02	3,36	11	0,24
entrada 2	75	5,49	3,06	11	0,22

Realizado por: Guaylla, J; 2019

Según la tabla 71-3 se tiene que el mayor desgaste ocurre en las tuberías de 75 mm y 100 mm diámetro los cuales son en la salida 2, entrada 1 y 2 y el menor desgaste ocurre en las tuberías de 50 mm de diámetro los cuales son en la salida 1 y salida 5.

En la gráfica 22-3 se puede observar la variación de desgaste de las tuberías de entrada y salida, en donde se evidencia cuáles son las tuberías con mayor y menor desgaste.



**Gráfico 22-3:** Desgaste de tuberías del TKR01

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la gráfica anterior se tiene que las tuberías de salida 2 y las entradas 1 y 2 son las que tienen un mayor desgaste que va desde 0,22 a 0,25 mm/año y el resto de tuberías tienen un desgaste que casi se mantiene constante de 0,12 a 0,13 mm/año.

### 3.1.16.2 Tasa de desgaste ocurrido desde su construcción hasta la actualidad del TKC02

En este tanque se tiene 5 tuberías de salida, una de entrada y una de desfogue de acuerdo a lo que se detalla en la tabla 72-3 para la cual se calcula el desgaste en cada una de estas tuberías.

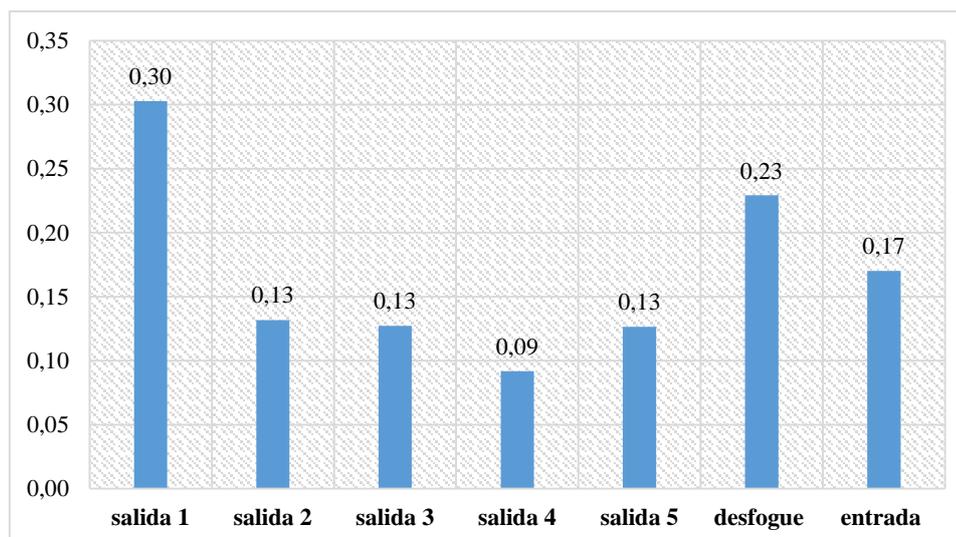
**Tabla. 73-3:** Desgaste de tuberías del TKC02

ENTRADA / SALIDA / DESFOGUE	DIÁMETRO (mm)	ESPESOR INICIAL (mm)	ESPESOR MÍNIMO REAL (mm)	AÑOS TRANSCURRIDOS (años)	TASA DE DESGASTE (mm/año)
salida 1	200	6,35	3,02	11	0,30
salida 2	50	3,91	2,46	11	0,13
salida 3	50	3,91	2,51	11	0,13
salida 4	50	3,91	2,90	11	0,09
salida 5	50	3,91	2,52	11	0,13
desfogue	100	6,02	3,50	11	0,23
entrada	100	6,02	4,15	11	0,17

**Realizado por:** Autor 2019

Según la tabla 72-3 se tiene que el mayor desgaste ocurre en las tuberías de 100 mm y 200 mm diámetro los cuales son en el desfogue y salida 1, y el menor desgaste ocurre en la tubería de 50 mm de diámetro la cual es en la salida 4.

En la gráfica 23-3 se puede observar la variación de desgaste de las tuberías de entrada y salida, en donde se evidencia cuáles son las tuberías con mayor y menor desgaste.



**Gráfico 23-3:** Desgaste de tuberías del TKC02

**Realizado por:** Guaylla, J; 2019

De la gráfica anterior se tiene que la tubería de salida 1 tiene un mayor desgaste que es de 0,30 mm/año y la de menor desgaste es en la tubería de salida 4 con 0,09 mm/ año.

### 3.1.16.3 Tasa de desgaste ocurrido desde su construcción hasta la actualidad del TKC03

En este tanque se tiene 4 tuberías de salida, una de entrada y una de desfogue de acuerdo a lo que se detalla en la tabla 73-3 para la cual se calcula el desgaste en cada una de estas tuberías.

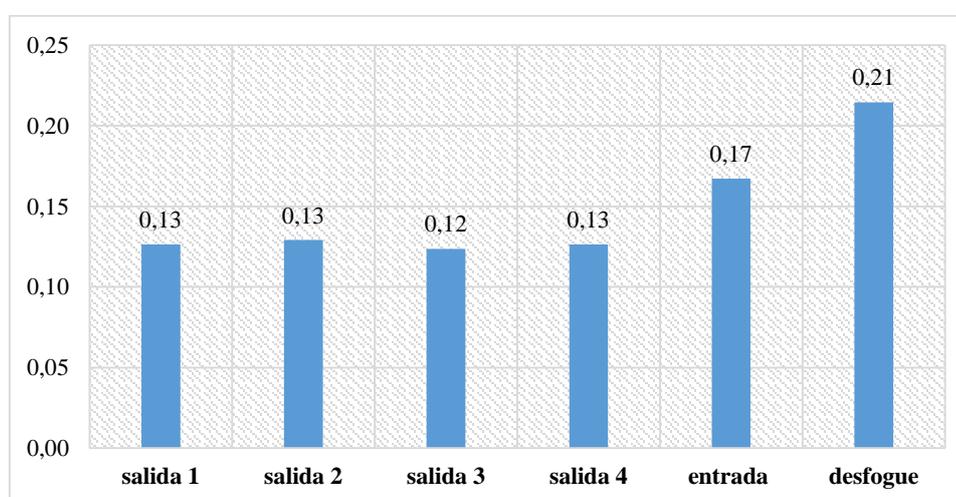
**Tabla. 74-3:** Desgaste de tuberías del TKC03

ENTRADA/ SALIDA / DESFOGUE	DIÁMETRO (mm)	ESPESOR INICIAL (mm)	ESPESOR MÍNIMO REAL (mm)	AÑOS TRANSCURRIDOS (años)	TASA DE DESGASTE (mm/año)
salida 1	50	3,91	2,52	11	0,13
salida 2	50	3,91	2,49	11	0,13
salida 3	50	3,91	2,55	11	0,12
salida 4	50	3,91	2,52	11	0,13
entrada	100	6,02	4,18	11	0,17
desfogue	100	6,02	3,66	11	0,21

Realizado por: Guaylla, J; 2019

Según la tabla 73-3 se tiene que el mayor desgaste ocurre en las tuberías de 100 mm de diámetro las cuales son el desfogue y entrada, y el menor desgaste ocurre en la tubería de 50 mm de diámetro la cual es en la salida 3.

En la gráfica 24-4 se puede observar la variación de desgaste de las tuberías de entrada y salida, en donde se evidencia cuáles son las tuberías con mayor y menor desgaste.



**Gráfico 24-4:** Desgaste de tuberías del TKC03

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la gráfica anterior se tiene que la tubería de desfogue tiene un mayor desgaste que es de 0,21 mm/año y la de menor desgaste es en la tubería de salida 3 con 0,12 mm/ año.

### 3.1.16.4 Tasa de desgaste ocurrido desde su construcción hasta la actualidad del TKC04

En este tanque se tiene 4 tuberías de salida, una de entrada y una de desfogue de acuerdo a lo que se detalla en la tabla 74-3 para la cual se calcula el desgaste en cada una de estas tuberías.

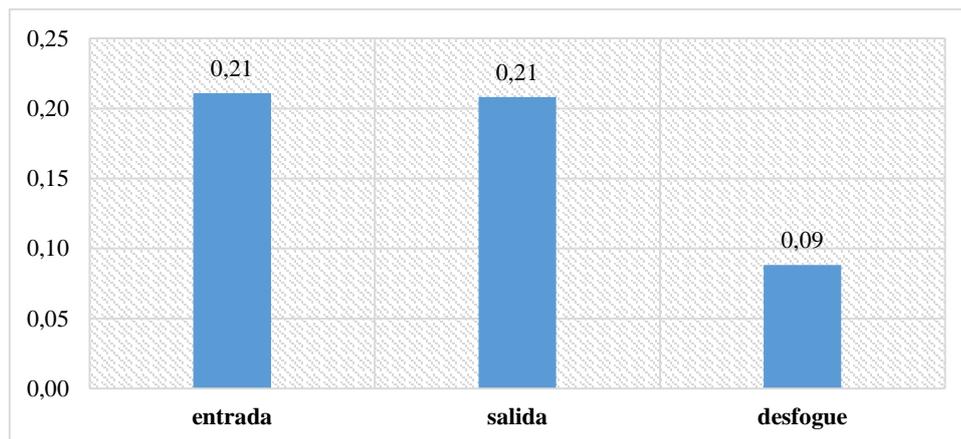
**Tabla. 75-3:** Desgaste de tuberías del TKC04

ENTRADA/ SALIDA / DESFOGUE	DIÁMETRO (mm)	ESPEJOR INICIAL (mm)	ESPEJOR MÍNIMO REAL (mm)	AÑOS TRANSCURRIDOS (años)	TASA DE DESGASTE (mm/año)
entrada	75	5,49	3,17	11	0,21
salida	75	5,49	3,20	11	0,21
desfogue	50	3,91	2,94	11	0,09

Realizado por: Guaylla, J; 2019

Según la tabla 74-3 se tiene que el mayor desgaste ocurre en las tuberías de 75 mm de diámetro las cuales son la entrada y salida, y el menor desgaste ocurre en la tubería de 50 mm de diámetro la cual es el desfogue.

En la gráfica 25-3 se puede observar la variación de desgaste de las tuberías de entrada, salida y desfogue en donde se evidencia cuáles son las tuberías con mayor y menor desgaste.



**Gráfico 25-3:** Desgaste de tuberías del TKC04

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la gráfica anterior se tiene que la tubería de entrada y salida tienen un mayor desgaste que es de 0,21 mm/año y la de menor desgaste es en la tubería de desfogue con 0,09 mm/ año.

### 3.1.16.5 Tasa de desgaste ocurrido desde su construcción hasta la actualidad del TKC05

En este tanque se tiene una tubería de entrada y una de salida de acuerdo a lo que se detalla en la tabla 75-3 para la cual se calcula el desgaste en cada una de estas tuberías.

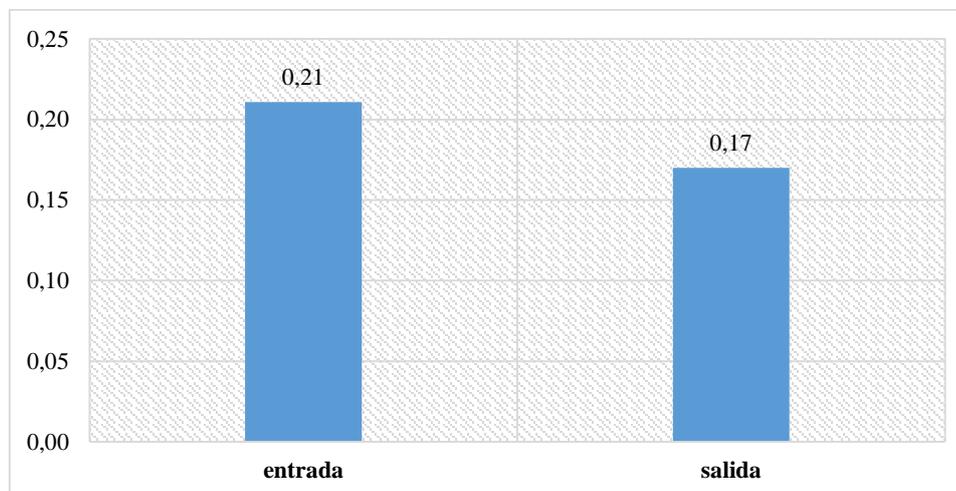
**Tabla. 76-3:** Desgaste de tuberías del TKC05

ENTRADA / SALIDA / DESFOGUE	DIÁMETRO (mm)	ESPESOR INICIAL (mm)	ESPESOR MÍNIMO REAL (mm)	AÑOS TRANSCURRIDOS (años)	TASA DE DESGASTE (mm/año)
entrada	75	5,49	3,17	11	0,21
salida	75	5,49	3,62	11	0,17

Realizado por: Guaylla, J; 2019

Según la tabla 75-3 se tiene que el mayor desgaste ocurre en la tubería de 75 mm de diámetro la cual es la entrada, y el menor desgaste ocurre en la tubería de 75 mm de diámetro la cual es la salida.

En la gráfica 26-3 se puede observar la variación de desgaste de las tuberías de entrada y salida en donde se evidencia cuáles son las tuberías con mayor y menor desgaste.



**Gráfico 26-3:** Desgaste de tuberías del TKC05

Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la gráfica anterior se tiene que la tubería de entrada tiene un mayor desgaste que es de 0,21 mm/año y la de menor desgaste es en la tubería de salida con 0,17 mm/año.

### 3.1.16.6 Tasa de desgaste ocurrido desde su construcción hasta la actualidad del TKR06

En este tanque se tiene una tubería de entrada de acuerdo a lo que se detalla en la tabla 76-3 para la cual se calcula el desgaste de esta tubería.

**Tabla. 77-3:** Desgaste de tuberías del TKR06

<b>ENTRADA/ SALIDA / DESFOGUE</b>	<b>DIÁMETRO (mm)</b>	<b>ESPEJOR INICIAL (mm)</b>	<b>ESPEJOR MÍNIMO REAL (mm)</b>	<b>AÑOS TRANSCURRIDOS (años)</b>	<b>TASA DE DESGASTE (mm/año)</b>
entrada	50	5,49	4,12	11	0,12

Realizado por: Guaylla, J; 2019

Según la tabla 76-3 se tiene que desgaste que ocurre en la tubería de 50 mm de diámetro la cual es la entrada es de 0,12 mm/año.

### **3.1.16.7 Tasa de desgaste ocurrido desde su construcción hasta la actualidad del TKC07**

En este tanque se tiene una tubería de entrada, 2 salida y una de desfogue de acuerdo a lo que se detalla en la tabla 77-3 para la cual se calcula el desgaste en cada una de estas tuberías.

**Tabla. 78-3:** Desgaste de tuberías del TKC07

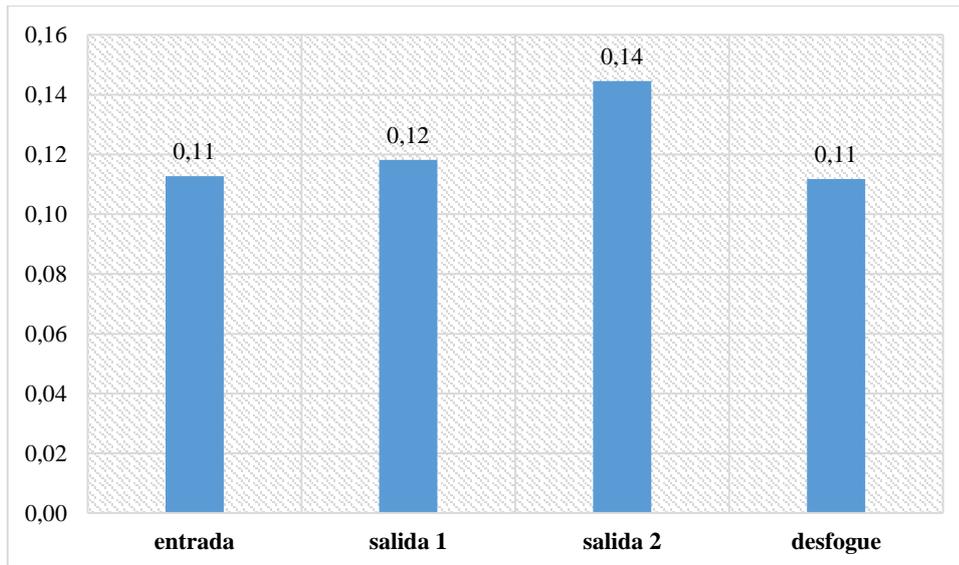
<b>ENTRADA/ SALIDA / DESFOGUE</b>	<b>DIÁMETRO (mm)</b>	<b>ESPEJOR INICIAL (mm)</b>	<b>ESPEJOR MÍNIMO REAL (mm)</b>	<b>AÑOS TRANSCURRIDOS (años)</b>	<b>TASA DE DESGASTE (mm/año)</b>
entrada	50	3,91	2,67	11	0,11
salida 1	50	3,91	2,61	11	0,12
salida 2	50	3,91	2,32	11	0,14
desfogue	50	3,91	2,68	11	0,11

Realizado por: Guaylla, J; 2019

Según la tabla 77-3 se tiene que el mayor desgaste ocurre en la tubería de 50 mm de diámetro la cual es la salida 2, y el menor desgaste ocurre en las tuberías de 50 mm de diámetro la cuales son en la entrada y desfogue.

En la gráfica 27-3 se puede observar la variación de desgaste de las tuberías de entrada, salida y desfogue en donde se evidencia cuáles son las tuberías con mayor y menor desgaste.

De la gráfica 27-3 se tiene que la tubería de salida 2 tiene un mayor desgaste que es de 0,14 mm/año y la de menor desgaste es en las tuberías de entrada y desfogue con 0,11 mm/año en cada una de ellas.



**Gráfico 27-3:** Desgaste de tuberías del TKC07  
Realizado por: Guaylla, J; 2019

### 3.1.16.8 Tasa de desgaste ocurrido desde su construcción hasta la actualidad del TKC08

En este tanque se tiene una tubería de salida y una de desfogue de acuerdo a lo que se detalla en la tabla 78-3 para la cual se calcula el desgaste en cada una de estas tuberías.

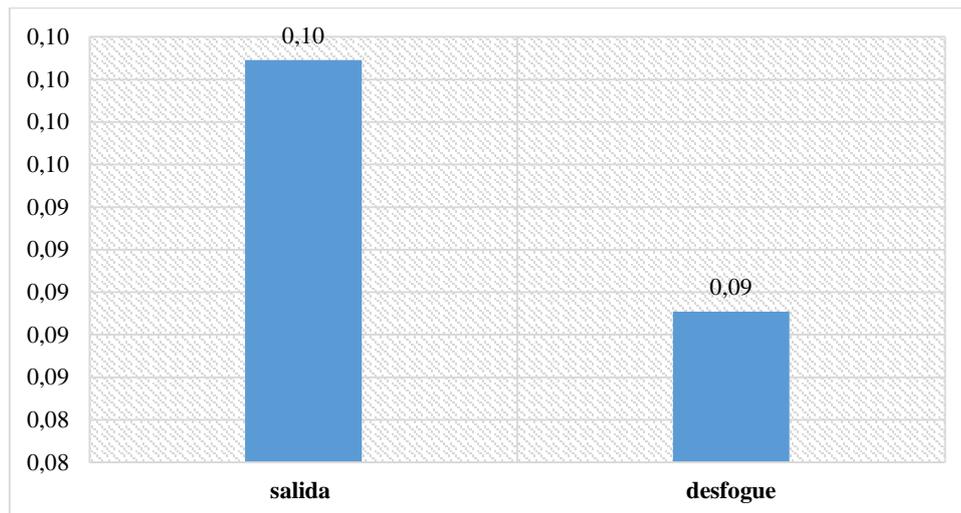
**Tabla. 79-3:** Desgaste de tuberías del TKC08

ENTRADA/ SALIDA / DESFOGUE	DIÁMETRO (mm)	ESPEJOR INICIAL (mm)	ESPEJOR MÍNIMO REAL (mm)	AÑOS TRANSCURRIDOS (años)	TASA DE DESGASTE (mm/año)
salida	50	3,91	2,80	11	0,10
desfogue	50	3,91	2,93	11	0,09

Realizado por: Guaylla, J; 2019

Según la tabla 78-3 se tiene que el mayor desgaste ocurre en la tubería de 50 mm de diámetro la cual es la salida, y el menor desgaste ocurre en las tuberías de 50 mm de diámetro la cual es en el desfogue.

En la gráfica 29-4 se puede observar la variación de desgaste de las tuberías de salida y desfogue en donde se evidencia cuáles son las tuberías con mayor y menor desgaste.



**Gráfico 28-4:** Desgaste de tuberías del TKC08  
Realizado por: Guaylla, J; 2019

De la gráfica anterior se tiene que la tubería de desfogue tiene un mayor desgaste que es de 0,09 mm/año y la de menor desgaste es en la tubería de salida con 0,10 mm/año.

### 3.1.16.9 Tasa de desgaste ocurrido desde su construcción hasta la actualidad del TKR09

En este tanque se tiene una tubería de salida de acuerdo a lo que se detalla en la tabla 5-18 para la cual se calcula el desgaste de esta tubería.

**Tabla. 80-3:** Desgaste de tuberías del TKR09

ENTRADA/ SALIDA / DESFOGUE	DIÁMETRO (mm)	ESPEJOR INICIAL (mm)	ESPEJOR MÍNIMO REAL (mm)	AÑOS TRANSCURRIDOS (años)	TASA DE DESGASTE (mm/año)
salida	75	5,49	3,00	11	0,23

Realizado por: Guaylla, J; 2019

Según la tabla 79-3 se tiene que el desgaste que ocurre en la tubería de 75 mm de diámetro la cual es la salida es de 0,23 mm/año.

### 3.1.17 Próximas inspecciones

Para determinar las próximas inspecciones primero se establece según la norma API 570 a qué clase de tubería pertenece las tuberías que son objeto de estudio, la norma API 570 categoriza a las tuberías en tres tipos de clase que son:

- **Clase 1.** Aquellos que de darse una fuga son altamente riesgosos para que ocurra una emergencia.
- **Clase 2.** Aquellos que no son riesgoso en caso de que ocurriese una fuga.
- **Clase 3.** Aquellos que son altamente riesgosos para el ser humano como para el medio ambiente en caso de existir una fuga.

En base a lo mencionado sobre las clases, las tuberías de servicio de agua potable pertenecen a la clase 2 y con esto se puede establecer las inspecciones que se debe hacen y cada que tiempo se debe hacerlas.

Según la recomendación dada en el ítem 6.3 de los intervalos de inspección de la norma API 570, esta se la debe hacer a no más de la mitad de tiempo de vida útil de la tubería, o a su vez según lo establecido en la tabla 80-3 que se extrajo de la misma norma.

**Tabla. 81-3:** Frecuencias de inspección recomendando

Tipo de tubería	Frecuencia de Inspecciones	
	Medición de espesores (Años)	Visuales Externas (Años)
Clase 1	5	5
Clase 2	10	10
Clase 3	10	10

Realizado por: Guaylla, J; 2019  
Fuente: (API, 1998 págs. 6-3)

### 3.1.18 Próxima inspección de las tuberías de los tanques

Para determinar cuándo hacer la próxima inspección de las tuberías se ha tomado en cuenta el menor tiempo de vida útil de las tuberías de cada uno de los tanques, así por ejemplo en el TKR01 el menor tiempo de vida útil es 12 años, por tanto se aplica el criterio de realizar la inspección a la mitad de la vida útil y mas no a lo mencionado en la tabla de la norma, que para este caso la próxima medición de espesores se la hará dentro de 6 años, tal como se lo puede ver en la tabla 81-3.

**Tabla. 82-3:** Inspección de las tuberías de los tanques

N.º DE TANQUE	VIDA ÚTIL (años)	FRECUENCIA DE INSPECCIÓN (años)	CRITERIO PARA PRÓXIMA INSPECCIÓN
TKR01	12	6	Mitad de vida útil

**Tabla. 83-3 (Continúa):** Inspección de las tuberías de los tanques

<b>N.º DE TANQUE</b>	<b>VIDA ÚTIL (años)</b>	<b>FRECUENCIA DE INSPECCIÓN (años)</b>	<b>CRITERIO PARA PRÓXIMA INSPECCIÓN</b>
TKC02	14	7	Mitad de vida útil
TKC03	16	8	Mitad de vida útil
TKC04	14	7	Mitad de vida útil
TKC05	14	7	Mitad de vida útil
TKR06	32	10	Según tabla de la norma
TKC07	15	8	Mitad de vida útil
TKC08	26	10	Según tabla de la norma
TKR09	12	6	Mitad de vida útil

Realizado por: Guaylla, J; 2019

Según se puede apreciar en la tabla 81-3 el intervalo de inspección más corto que se tiene es en los tanques TKR01 y TKR09 con una frecuencia de 6 años y también los tanques TKC02, TKC04 y TKC05 en donde la próxima medición de espesores se la debe hacer dentro de 7 años, y las que más tiempo tienen para realizar la próxima inspección son los tanques TKR06 y TKC08 que se lo hará dentro de los próximos 10 años.

### **3.1.19 Interpretación de resultados**

Una vez realizada la medición de espesores mediante el método de ultrasonido en cada una de las tuberías de acero galvanizado, siendo estas de entrada, salida o desfogue de los tanques de almacenamiento del GAD parroquial de Licán, se procedió a realizar un análisis técnico de dichas tuberías mediante un tratamiento estadístico de los datos obtenidos y una investigación acerca del desgaste que se produce en estas tuberías, para que con esta información se pueda determinar el tiempo de su vida útil.

### **3.1.20 Desgaste de las tuberías de acero galvanizado**

Mediante la interpretación de la medición de espesores, en cada una de las tuberías de los 9 tanques de almacenamiento que fueron objeto de estudio, se realizó la determinación de los espesores más bajos en dichas tuberías, estos datos se obtuvieron en el capítulo 3 del apartado 3.1.13.

**Tabla. 82-3:** Espesores bajos de tuberías

<b>CÓDIGO</b>	<b>N.º DE TUBERÍAS</b>	<b>ESPESTORES BAJOS EN A</b>	<b>ESPESTORES BAJOS EN B</b>	<b>ESPESTORES BAJOS EN C</b>	<b>ESPESTORES BAJOS EN D</b>
TKR01	9	76	74	36	69
TKC02	7	26	21	32	18
TKC03	6	19	5	17	13
TKC04	3	16	6	6	5
TKC05	2	7	7	5	2
TKR06	1	6	3	1	5
TKC07	4	14	10	4	2
TKC08	2	6	3	2	1
TKR09	1	10	2	5	3
<b>TOTAL</b>	<b>35</b>	<b>180</b>	<b>131</b>	<b>108</b>	<b>118</b>

Realizado por: Guaylla, J; 2019

La tabla 82-3 muestra que los espesores más bajos se dan en el punto cardinal A, con un total de 180 puntos medidos en las 35 tuberías que están distribuidas en los 9 tanques de almacenamiento.

Una vez determinado que el espesor más bajo se encuentra en el punto cardinal A, y en base a la investigación de los temas relacionados a los tipos de desgaste y la corrosión interna que se presenta en tuberías de agua de acero galvanizado, se dan a consecuencia de algunos factores como:

- La presencia de oxígeno en el interior de las tuberías.
- Presencia de cloro residual como el OHCl (Acido Hipocloroso).
- Presencia de materiales sólidos debido a la falta de filtración en el proceso de potabilización del agua.

Esto demuestra que los factores mencionados inciden de manera directa para que se produzca una reducción de espesor en la tubería, además se puede mencionar que el desgaste que se presenta en estas tuberías es de tipo corrosivo – mecánico, a razón que existe contacto entre un metal (acero galvanizado) con un no metal (agua potable), y en presencia del medio ambiente.

### **3.1.21 Vida útil de las tuberías de acero galvanizado**

Una vez obtenido el espesor medido y requerido de cada una de las tuberías de los tanques, y analizada la velocidad de desgaste de las mismas, se realizó el cálculo de la vida útil, que está

relacionada de manera inversa con respecto a la velocidad de desgaste, es decir que cuanto mayor es la velocidad de desgaste la vida útil será menor.

**Tabla. 83-3:** Vida útil máxima de tuberías

<b>CÓDIGO</b>	<b>ENTRADA / SALIDA / DESFOGUE</b>	<b>DIÁMETRO (mm)</b>	<b>DIÁMETRO (in)</b>	<b>Velocidad de desgaste (mm/año)</b>	<b>VIDA ÚTIL (años)</b>
TKR01	salida 1	50	2	0,12	20
TKC02	salida 4	50	2	0,09	30
TKC03	entrada	100	4	0,17	23
TKC04	desfogue	100	4	0,09	32
TKC05	salida	100	4	0,17	20
TKR06	entrada	50	2	0,12	32
TKC07	desfogue	100	4	0,11	23
TKC08	desfogue	100	4	0,09	31

Realizado por: Guaylla, J; 2019

La vida útil máxima de las tuberías está dentro del intervalo de 20 a 32 años, y su velocidad de desgaste está dentro de un intervalo de 0,09 a 0,17.

**Tabla. 84-3:** Vida útil mínima de tuberías

<b>CÓDIGO</b>	<b>ENTRADA / SALIDA / DESFOGUE</b>	<b>DIÁMETRO (mm)</b>	<b>DIÁMETRO (in)</b>	<b>Velocidad de desgaste (mm/año)</b>	<b>VIDA ÚTIL (años)</b>
TKR01	salida 2	100	4	0,25	12
TKC02	salida 1	200	8	0,30	8
TKC03	desfogue	100	4	0,21	16
TKC04	entrada	50	2	0,21	14
TKC05	entrada	50	2	0,21	14
TKC07	salida 2	50	2	0,14	15
TKR09	salida	75	3	0,23	12

Realizado por: Guaylla, J; 2019

La vida útil mínima está comprendida entre el intervalo de 8 a 16 años, en tanto que la velocidad de desgaste se encuentra en el intervalo de 0,14 a 0,30.

Mediante un análisis de las tablas 83-3 y 84-3 se confirma que mientras mayor es la velocidad de desgaste, menor es la vida útil de las tuberías de acero galvanizado, lo contrario ocurre cuando la velocidad de desgaste es menor.

### 3.2 Conclusiones

- El mayor desgaste que ocurre en las tuberías de acero galvanizado de los tanques de almacenamiento de agua potable del GAD parroquial de Licán, es de tipo corrosivo – mecánico, debido a que existe presencia de oxígeno en el interior de las tuberías, cloro residual como el OHCl (Acido Hipocloroso) y presencia de materiales sólidos, estos factores mencionados ocasionan que las tuberías sufran una disminución en el espesor de la tubería, siendo esto la principal característica del desgaste corrosivo -mecánico. Con lo cual se puede afirmar que la hipótesis planteada en el inciso 1.4 de este trabajo de investigación se cumple.
- Con ayuda de la medición de espesores se logró realizar la toma de 1584 puntos, a lo largo de 9 tanques inspeccionados, que incluyen tuberías que van des de 50 mm (2 in) de diámetro hasta tuberías de 200 mm (8 in) de diámetro.

**Tabla. 85-3:** Vida útil mínima de tuberías

Código	N.º de tuberías de 50 mm (2in)	Puntos medidos	N.º de tuberías de 75 mm (3in)	Puntos medidos	N.º de tuberías de 100 mm (4in)	Puntos medidos	N.º de tuberías de 200 mm (8in)	Puntos medidos
TKR01	6	492	-	-	3	172	-	-
TKC02	4	72	-	-	2	108	1	160
TKC03	4	72	-	-	2	108		
TKC04	1	20	2	88	-	-	-	-
TKC05	-	-	2	64	-	-	-	-
TKR06	1	36	-	-	-	-	-	-
TKC07	4	92	-	-	-	-	-	-
TKC08	2	44	-	-	-	-	-	-
TKR09	-	-	1	56	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>22</b>	<b>828</b>	<b>5</b>	<b>208</b>	<b>7</b>	<b>388</b>	<b>1</b>	<b>160</b>

Realizado por: Guaylla, J; 2019

- Se ha logrado determinar que el mayor desgaste ocurrido se presenta en la tubería de salida 1, del TKC02, Tal como se lo puede apreciar en la siguiente tabla

**Tabla. 86-3:** Desgaste máximo de tuberías

CÓDIGO	ENTRADA/SALIDA / DESFOGUE	DIÁMETRO (mm)	DIÁMETRO (in)	ESPEJOR INICIAL (mm)	ESPEJOR MÍNIMO REAL (mm)	TASA DE DESGASTE (mm/año)
TKR01	salida 2	100	4	6,02	3,26	0,25
TKC02	salida 1	200	8	6,35	3,02	0,30

**Tabla. 86-3 (Continúa):** Desgaste máximo de tuberías

TKC03	desfogue	100	4	6,02	3,66	0,21
TKC04	entrada	75	3	5,49	3,17	0,21
TKC05	entrada	75	3	5,49	3,17	0,21
TKR06	entrada	50	2	5,49	4,12	0,12
TKC07	salida 2	50	2	3,91	2,32	0,14
TKC08	salida	50	2	3,91	2,80	0,10
TKR09	salida	75	3	5,49	3,00	0,23

Realizado por: Guaylla, J; 2019

- La vida útil con mayor tiempo calculado se encuentra en la tubería de entrada del TKR06 con un valor de 32 años, así mismo la vida útil con menor tiempo calculado se encuentra en la tubería salida 1 del TKC02 con un valor de 8 años.

### 3.3 Recomendaciones

- Se recomienda utilizar el análisis y el estudio de la medición de espesores de este trabajo para la planificación del mantenimiento de las tuberías de acero galvanizado en otros sectores de la provincia.
- Es necesario que se aplique a cabalidad la inspección mostrada en la tabla 5-20 a través de la medición de espesores para verificar el comportamiento de la tubería en los próximos 4 años.
- Se debe prestar mayor atención en la vida útil de las tuberías con menor vida útil, las cuales se encuentran referenciadas en la tabla 5-23, realizando un análisis técnico que permita cumplir con su vida útil prevista la cual tiende a ser de 25 a 30 años a partir de su instalación.
- Se estima que la corrosión en la parte superior interna de las tuberías es por picadura, para corroborar esta hipótesis se debe hacer un desmontaje de las tuberías, o en el caso particular realizar una boroscopia, o análisis de ultrasonido activo o una radiografía, para observar las condiciones internas de las mismas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**API-570.** *Código de inspección de tuberías*

**ARGENTINOS.** *Tubos de acero galvanizado para la conducción de fluidos*. [En línea] [Citado el: 10 de mayo de 2019.] Disponible en: [https://tubosarg.com.ar/productos-tubos-argentinos/canosdeconduccion/canosgalvanizados?fbclid=IwAR2m9OJwVK89RrCDfrj2BBqNj48zIsrdye56bamHV5Cu3pEVI\\_qdqhxSslQ](https://tubosarg.com.ar/productos-tubos-argentinos/canosdeconduccion/canosgalvanizados?fbclid=IwAR2m9OJwVK89RrCDfrj2BBqNj48zIsrdye56bamHV5Cu3pEVI_qdqhxSslQ).

**ASTM E-797.** *Práctica Estandar para la medición de espesores mediante el método manual de ultrasonido pulso-eco*

**AWWA C-150.** *Norma Nacional estadounidense para el diseño de espesores de tubería de hierro dúctil.*

**BENTECH.** *Manual de usuario de medición por ultrasonido*. [En línea] pp. 4-10 [Citado el: 15 de abril de 2019.] Disponible en: [http://2flow.se/files/RM130\\_manual.pdf](http://2flow.se/files/RM130_manual.pdf). 0451-22300.

**CARREÑO, JUAN.** *Técnicas de montaje de instalaciones*. Madrid - España: Ediciones Paraninfo, 2017. pp. 82-84 [Consulta: 20 de agosto de 2018.] Disponible en : <https://books.google.com.ec/books?id=ogMoDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=T%C3%A9cnicas+de+montaje+de+instalaciones+Carre%C3%B1o&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwjMquziuYPjAhXJrFkKHUzrBI8Q6AEIKDAA#v=onepage&q&f=false>

**COLMENA.** *Instalaciones de gas y conducción de fluidos ASTM A 53. Material de fabricación*. [En línea] pp. 2-3 [Citado el: 21 de abril de 2019.] Disponible en: <http://www.tuboscolmena.com/web/fichas/ASTM-A-53.pdf>.

**ORIENTACIÓN EN SANEAMIENTO BÁSICO PARA ALCALDÍAS DE MUNICIPIOS RURALES Y PEQUEÑAS.** *Guía de orientación en saneamiento básico. Filtración lenta*. [En línea] [Citado el: 12 de marzo de 2019.] Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/2-3sas.htm>.

**ELAPLAS.** *Propiedades físicas del cloruro de polivinilo . PVC rígido*. [En línea] pp: 4-5 [Citado el: 5 de junio de 2019.] [http://www.elaplas.es/wp-content/uploads/pvc\\_rigido.pdf](http://www.elaplas.es/wp-content/uploads/pvc_rigido.pdf)

**HERRAMIENTAS DE MÁQUINAS. DE MEDICIÓN .** *Tipos de medidores de espesor por ultrasonido.* [En línea] [Citado el: 18 de abril de 2019.] Disponible en: <https://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-de-medicion/tipos-de-medidores-de-espesor-por-ultrasonido>.

**IMEL.** Guía de tubos, cañerías y perfiles . *Cañerías.* [En línea] 2013. pp. 11-12 [Citado el: 21 de agosto de 2018.] Disponible en: [http://www.imel.cl/html-productos/descargas/guia\\_perfiles\\_marzo\\_2013.pdf](http://www.imel.cl/html-productos/descargas/guia_perfiles_marzo_2013.pdf).

**INEN-NTE 1108.** *Agua Potable Requisitos.*

**INSTALACIONES,** Técnicas de montaje de. Tuberías de acero galvanizado. *Propiedades de tuberías de acero galvanizado.* [En línea] pp. 2-4 [Citado el: 15 de diciembre de 2018.] Disponible en: <http://www.imacifp.com/wp-content/uploads/2013/09/C.F.G.M.-tuber%C3%ADas.pdf>.

**LEÓN, EDUARDO.** *Ultrasonidos Nivel 2.* Madrid, España : Fundación Confemetal, 2009. pp. 1-4 [Consulta: 20 de agosto de 2018.] Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=Avp1DgAAQBAJ&pg=PT177&dq=ultrasonido+nivel+2&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwi9\\_4nqwPbiAhVCu1kKHUVnAcYQ6AEIKDAA#v=onepage&q=ultrasonido%20nivel%202&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=Avp1DgAAQBAJ&pg=PT177&dq=ultrasonido+nivel+2&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwi9_4nqwPbiAhVCu1kKHUVnAcYQ6AEIKDAA#v=onepage&q=ultrasonido%20nivel%202&f=false)

**PÉREZ, FRANCISCO MARTÍNEZ.** *La Tribología ciencia y técnica para el mantenimiento.* México : Limusa, 2002. pp. 89-96 [Consulta: 15 de diciembre de 2018.] Disponible en : [http://www.imel.cl/html-productos/descargas/guia\\_perfiles\\_marzo\\_2013](http://www.imel.cl/html-productos/descargas/guia_perfiles_marzo_2013).

**UNE-EN 13306.** *Terminología de Mantenimiento.*

**ARIAS, FIDIAS..** *Introducción a la investigación científica .* Caracas : ESPISTEME C.A, 2012.pp.27 [Consulta: 15 de diciembre de 2018.].