

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica

**ANÁLISIS DE DESGASTE EN LA TUBERÍA
FORZADA MEDIANTE LA MEDICIÓN
DE ESPORES EN LA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA ARICOTA
2 - EMPRESA EGESUR S.A.,
EN EL AÑO 2018**

TESIS

Presentada por:

Bach. Guido Maquera Maquera

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO MECÁNICO

TACNA - PERÚ

2023

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica

**ANÁLISIS DE DESGASTE EN LA TUBERÍA
FORZADA MEDIANTE LA MEDICIÓN
DE ESPESORES EN LA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA ARICOTA
2 - EMPRESA EGESUR S.A.,
EN EL AÑO 2018.**

Tesis sustentada y aprobada el 18 de diciembre del 2023, siendo el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE:



.....
Mtro. Carlos Aurelio Garván Gamarra

SECRETARIO:



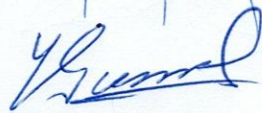
.....
Mtro. Reynaldo Clemente Telles Ríos

VOCAL:



.....
Mtro. Wilson García Mamani

ASESOR:



.....
Dr. Francisco Gamarra Gómez

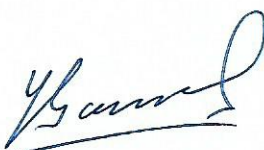
CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **Francisco Gamarra Gómez** en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N° 07194-2022-FAIN/UNJBG. De la tesis de investigación titulada: **"ANÁLISIS DE DESGASTE EN LA TUBERÍA FORZADA MEDIANTE LA MEDICIÓN DE ESPESORES EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ARICOTA 2 - EMPRESA EGESUR S.A., EN EL AÑO 2018"**. Presentado por Bachiller **GUIDO MAQUERA MAQUERA** para optar el título de **Ingeniero Mecánico**.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajos de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual TURNITIN. Cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 9 %.

Por lo que **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis está de acuerdo al nivel **PERMITIDO**, para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio Institucional**.

Se emite el presente certificado con fines de continuar con los trámites respectivos para su obtención del título profesional.





DNI: 00413878
Dr. Francisco Gamarra Gómez





DNI: 71308355
Bachiller Guido Maquera Maquera

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado especialmente a mis padres: Máximo Raúl Maquera y María Maquera.

A mi hijo Bryners Jassiel y mi esposa Magaly Grande; y,

A mis hermanos Henry, Alan, Richard, Luis y Maritza, que fueron un gran soporte para su realización, por su paciencia y buenos consejos.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradecer a Dios por darme salud y fortaleza para afrontar gran parte de los retos que me trazo en la vida, y también a esta Universidad por acogerme, a la vez permitirme consagrarme como profesional en lo que me apasiona, a mi asesor por su incondicional apoyo, perseverancia, paciencia, profesionalismo; que queda como producto terminado esta tesis que perdurará dentro de los conocimientos y desarrollo de las demás generaciones que están por llegar.

Agradezco a todas aquellas personas que de alguna forma han contribuido para que el presente trabajo se materialice. En especial a todos los colaboradores de la empresa EGESUR S.A. y compañeros de trabajo, profesores de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la UNJBG.

ÍNDICE TEMÁTICO

DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE TEMÁTICO	VI
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT.....	XVI
INTRODUCCION.....	1
CAPÍTULO I	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA A INVESTIGAR.	2
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.4. OBJETIVOS	4
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.4.2. <i>Objetivos específico</i>	5
1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	5

1.6.	ALCANCE Y LIMITACIONES.....	6
1.6.1.	<i>Alcances</i>	6
1.6.2.	<i>Limitaciones</i>	7
1.7.	VIABILIDAD DEL ESTUDIO	7
1.8.	FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	7
1.9.	VARIABLES	8
1.10.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	8
 CAPÍTULO II		9
 MARCO TEÓRICO		9
2.1.	ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.....	9
2.1.1.	<i>Antecedentes nacionales</i>	9
2.1.2.	<i>Antecedentes internacionales</i>	11
2.2.	BASES TEÓRICAS	12
2.2.1.	<i>Generalidades de calibración de espesores por ultrasonido.</i>	12
2.2.2.	<i>Equipo de medición de ultrasonido</i>	17
2.2.3.	<i>Procedimiento de evaluación.</i>	24
2.2.4.	<i>Procedimiento de cálculo del espesor mínimo requerido.</i>	26
	<i>Estándares empleados</i>	26
2.2.5.	<i>Determinación del espesor mínimo requerido</i>	30
2.2.6.	<i>Desgaste en tuberías forzada.</i>	32

2.3.	<i>Definiciones de Términos</i>	38
CAPÍTULO III		41
MARCO METODOLÓGICO		41
3.1.	PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO.....	41
3.1.1.	<i>Tipo de investigación</i>	41
3.1.2.	<i>Nivel de investigación</i>	41
3.1.3.	<i>Diseño de la investigación</i>	41
3.2.	UNIDAD DE OBSERVACIÓN	41
3.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	42
3.4.	EQUIPOS Y MATERIALES	42
3.5.	PROCESAMIENTO DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	42
3.6.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	42
3.7.	TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS.....	44
CAPÍTULO IV		45
RESULTADOS		45
4.1.	DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES	45
4.1.1.	<i>Activo metálico inspeccionado</i>	45
4.1.2.	<i>Análisis</i>	45

4.1.3. Esquema global de la tubería forzada – Central Hidroeléctrica Aricota II	51
4.1.4. Resultados de la medición en tramos por diámetro.	55
4.2. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.	83
4.2.2 Análisis de desgaste	91
4.3. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	105
CAPÍTULO V	109
DISCUSIÓN	109
5.1. PRUEBAS DE VALIDACIÓN DEL MODELO EXPERIMENTAL	109
5.2. APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA ENCONTRADA	110
5.3. CONTRASTE CON TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN SIMILARES	110
CONCLUSIONES	112
RECOMENDACIONES.....	115
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	116
ANEXOS.....	119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Operacionalización de las variables	8
Tabla 2.	Detalles del medidor de espesor	17
Tabla 3.	Velocidades de los materiales predefinidos	43
Tabla 4.	Registro de espesores en campo	44
Tabla 5.	Datos generales de la tubería forzada	45
Tabla 6.	Composición química del acero al carbono ISI1018	49
Tabla 7.	Tamaño, tolerancia y proceso del acero al carbono	50
Tabla 8.	Mediciones de espesores en el primer tramo	55-58
Tabla 9	Mediciones de espesores en el segundo tramo	62-65
Tabla 10	Mediciones de espesores en el tercer tramo	70-72
Tabla 11	Mediciones de espesores en el cuarto tramo	77-78
Tabla 12	Mediciones de espesores del sótano	81
Tabla 13	Parámetros para el primer tramo	83
Tabla 14	Parámetros para el segundo tramo	85
Tabla 15	Parámetros para el tercer tramo	86
Tabla 16	Parámetros para el cuarto tramo	87
Tabla 17	Parámetros para el sótano	89
Tabla 18	Desgaste crítico en el primer tramo	93
Tabla 19	Desgaste crítico en el segundo tramo	96
Tabla 20	Desgaste crítico en el tercer tramo	99
Tabla 21	Desgaste crítico en el cuarto tramo	102
Tabla 22	Resumen de costos	104-105
Tabla 23	Análisis de desgaste por año	106-107
Tabla 24	Resumen estadístico	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01.	Equipo de ultrasónico Huatec	17
Figura 02.	Ultrasonic Thickness Gauge	22
Figura 03.	Comandos del equipo de Medición	22
Figura 04.	Calibración	24
Figura 05.	Acción de una partícula abrasiva	33
Figura 06.	Partícula abrasiva generando una huella de desgaste	34
Figura 07.	Origen de la cavitación	36
Figura 08.	Tubería Forzada de Aricota 2	46
Figura 09.	Puntos para medición de espesores en Tubería	47
Figura 10.	Caja del equipo de ultrasonido Huatec	48
Figura 11, 12 y 13.	Planos esquemáticos de los detalles de la Tubería	52-54
Figura 14.	Vista del punto 16 de la muestra tomada	58
Figura 15 y 16.	Anclaje Móvil en el subtramo	59
Figura 17.	Procedimiento de Medición	60
Figura 18.	1ra Ventana de Inspección en el punto 80 de la muestra	61
Figura 19.	Primera Junta de Dilatación puntos 83 y 84	61
Figura 20.	Punto de quiebre y vista del segundo Tramo	65
Figura 21.	Vaciado de concreto en los puntos 85 al 88	66

Figura 22.	Segunda junta de Dilatación	66
Figura 23.	Punto 136 dañado	67
Figura 24.	Punto 169 de la muestra tomada	67
Figura 25.	Rayones de 3 mm de profundidad en el punto 170	68
Figura 26.	Segunda ventana de Inspección en el punto 182	68
Figura 27.	Trabajos de limpieza y retiro de pintura para medición	69
Figura 28.	Preparado de pintura anticorrosiva para pintar en los puntos que fueron Lijados	69
Figura 29.	Medición de espesor en la parte lateral de la tubería	70
Figura 30.	Anclaje móvil a 35°24'07''	73
Figura 31.	Vaciado de concreto y punto de quiebre desde los puntos 186 al 192	74
Figura 32.	Tercera Junta de Dilatación de 5 a 7 etapas de Orings	75
Figura 33.	Averías en el punto 249	76
Figura 34.	Corrosión en el punto 250 lado "C"	76
Figura 35.	Tercera ventana punto 250	77
Figura 36.	Anclaje Fijo reforzado con 12 pernos	79
Figura 37.	Cuarta junta de Dilatación en los puntos 276 y 277	80
Figura 38.	Medición en zonas peligrosas y accidentadas	80
Figura 39.	Mediciones en la parte baja de la Tubería	81
Figura 40.	Válvula Esférica y la By Pass	82
Figura 41.	Medición en el Sótano	83

Figura 42-45.	Análisis de desgastes mediante espesores 1er Tramo	91-92
Figura 46-49.	Análisis de desgastes mediante espesores 2do Tramo	94-95
Figura 50-53.	Análisis de desgastes mediante espesores 3er Tramo	97-98
Figura 54-57.	Análisis de desgastes mediante espesores 4to Tramo	100-101
Figura 58	Análisis de desgastes mediante espesores Sótano	103
Figura 59	Promedios mediante la caja y bigotes – t student	108
Figura 60	Medición de tubería en campo	109

RESUMEN

La necesidad de llevar el control de desgaste en la Central Hidroeléctrica ha hecho que la empresa vea la necesidad de realizar inspecciones periódicas, mediante el análisis por ultrasonido en materia industrial, basado en normativas vigentes. Se trata de un método viable y estratégicamente trabajable a comparación de otros equipos de medición mecánica como lo es el micrómetro y el vernier, solo requiere de una parte o vista de la pieza a medir. Es básicamente eso, que hace que sea una técnica muy utilizada en medición de espesores. Los primeros equipos de ultrasónicos se usaron en los años 65 años, pero básicamente para trabajos puntuales y difíciles de procesar. Pero se en los años 70 fue mejorando en lo que comprende su procesador y su variedad de aplicaciones, haciendo que la misma sean más aplicables en la industria. Sin embargo, el avance de la tecnología ha hecho que haya mejoras en equipos e instrumentos que son más manejables y accesibles al operador. En la presente tesis se emplearon técnicas de inspección visual, calibración de espesores mediante ultrasonido según los estándares internacionales. Durante la inspección de la tubería Forzada de la Central Hidroeléctrica de Aricota 2, se evaluó el estado de conservación del activo metálico, conformado por el ducto de conducción.

En el primer capítulo, se aborda la problemática de la investigación al describir la realidad actual y enfocarse en la formulación del problema, así como en los objetivos que la tesis abordará mediante elementos metodológicos que orientarán la investigación. El segundo capítulo presenta el marco teórico, donde se incluyen los antecedentes e investigaciones previas relacionadas con la tesis, y se realiza un análisis de desgastes dentro de dicho marco. En el tercer capítulo, se aborda la participación metodológica, detallando la metodología que respalda la tesis y especificando el problema de estudio para enmarcar el tipo de investigación que se llevará a cabo. En el cuarto capítulo, titulado "Resultados y Discusión", se contrastan los resultados del análisis de desgaste. Finalmente, el trabajo concluye con las secciones de conclusiones y recomendaciones, destacándose que la conclusión más significativa de esta tesis radica en la capacidad para realizar selecciones de materiales y evaluar la viabilidad del estudio.

Palabras clave: Desgaste, tubería, espesores, hidroeléctrica.

ABSTRACT

The need to monitor wear in the Hydroelectric Power Plant has made the company see the need to carry out periodic inspections, through ultrasound analysis in industrial matters, based on current regulations. It is a viable and strategically workable method compared to other mechanical measuring equipment such as the micrometer and the vernier, it only requires a part or view of the piece to be measured. It is basically that, which makes it a widely used technique in thickness measurement. The first ultrasonic equipment was used in the 65s, but basically for specific jobs that were difficult to process. But in the 70s it improved in terms of its processor and its variety of applications, making it more applicable in the industry. However, the advancement of technology has led to improvements in equipment and instruments that are more manageable and accessible to the operator. In this thesis, visual inspection techniques and thickness calibration using ultrasound were used according to international standards. During the inspection of the penstock of the Aricota 2 Hydroelectric Power Plant, the state of conservation of the metallic asset, made up of the conduction duct, was evaluated. The first chapter appreciates the research problem that describes the current reality and focuses on the problem, to be taken to the

formulation of the problem, the objective that the thesis requires in methodological elements that guide the research.

The second chapter presents the theoretical framework, which contains the background or previous research linked to this thesis, in the theoretical framework it is linked to an analysis of wear and tear. The third chapter contemplates the methodological participation where the methodology that supports this thesis is explained, where the study problem is specified in order to frame the type of research that will be carried out. In the fourth chapter called results and discussion, the results of the wear analysis are contrasted. Finally, the work concludes with the conclusions and recommendations sections, highlighting that the most significant conclusion of this thesis lies in the ability to make material selections and evaluate the feasibility of the study.

Keywords: Wear, pipes, thicknesses, hydroelectric.

INTRODUCCION

El presente trabajo de “Análisis de desgaste en la Tubería Forzada mediante la medición de espesores en la Central Hidroeléctrica Aricota 2 – Empresa EGESUR S.A., en el año 2018.”, se elaboró con la finalidad de tener un análisis detallado de desgaste hasta la actualidad, y que dentro de ello se minimice las fallas potenciales por desgaste que provocan el deterioro de la tubería y demás accesorios u componentes.

Se inició con un análisis del estado actual de la tubería forzada de la Central Hidroeléctrica de Aricota 2, realizando un procedimiento de inspección, evaluando los valores obtenidos mediante una medición por ultrasonido en la tubería. La medición de espesores se realizó con el equipo “Ultrasonic Thickness Gauge – HUATEC”, mediante la inspección realizadas se identificó la degradación de la pared interna de la Tubería Forzada y de algunos componentes producto de la corrosión presente en ella.

Se planteó la implementación de medidas de mejora dirigidas a la identificación de posibles fallas por corrosión, con el objetivo de elevar la confiabilidad de la Central Hidroeléctrica y sus elementos. Esto incluye la realización de inspecciones regulares de espesores y la ejecución de tareas de mantenimiento planificadas, con la finalidad de prolongar la vida útil de la Central y sus respectivos componentes.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes del problema a investigar

La corrosión siempre ha sido un problema para todas las industrias en especial al sector hidráulico energético, es por ello que EGESUR ha venidos realizando calibraciones de espesores en la tubería ya que esta fue fabricada en el año 1966 es decir viene operando 56 año.

Según datos obtenidos por la empresa EGESUR, el 28 de diciembre en el año 2011 se realizó la ejecución de una Orden de Servicio N° 433-MC-2011-S, "Servicio de Calibración de Espesor de Tubería Forzada de Aricota II" a cargo de la empresa ESCEM E.I.R.L. con la supervisión de su propio gerente en ese entonces Poly Jiménez Ponce y por parte de la empresa propia el jefe de Centrales Hidráulicas Ingeniero Israel Quisferd Velásquez. Afirmando en sus resultados que el ducto se encuentra en buenas condiciones físicas, recomendando en el mismo la calibración de espesores por lo menos una vez al año y determinar una tasa de corrosión anual, mediante tres evaluaciones futuras.

1.2. Descripción del problema

En los últimos años de la humanidad, las empresas del sector industrial se han visto sometidos a una enorme presión para ser competitivas en ofrecer un servicio de calidad. Es por ello, que la gerencia de producción hidráulica se ha visto obligada a dar algunas mejoras en sus registros que contemplan el estado actual de equipos, componentes y demás accesorios mediante un análisis de desgaste por año de uso, para poder cumplir con las expectativas de la humanidad.

En vista de esas necesidades antes mencionada, la tendencia al empleo de metodologías y procedimientos actuales, ha hecho que muchas organizaciones reestructuren su manera de considerar su actividad productiva.

La Central Hidroeléctrica Aricota 2 se encuentran ubicadas en el distrito de Curibaya, provincia Candarave región Tacna, configuradas en cascada utilizando las aguas de la laguna de Aricota, dicha central tiene una potencia instalada de 11,90MW con una turbina de eje vertical. Y consta de una Tubería de Fuerza de 649 metros de longitud con una altura útil de 312 metros y un diámetro entre 1,2 – 0,85 metros respectivamente.

Ahora bien, según los registros que maneja el centro de control y el operador de la Central, este grupo de generación no trabaja a su 100% llegando a generar 7,5 a 9,1 MW como máximo con respecto a la potencia

instalada debido a varios factores como lo es el fluido, corrosión, desgaste, fatiga.

Sin embargo, para revertir los efectos de la corrosión u desgaste externa e interna en la tubería y mantenerla continuidad operacional de la producción eléctrica e hidráulica se aplican técnicas de reparación, como lo es el caso de la instalación de pequeña camisa metálicas soldadas y en algunos casos pegados en la superficie exterior de la tubería

Ante este problema surge la propuesta de alternativa tecnológica de reparación de tubería para la continuidad operacional de líneas de proceso de producción como también monitoreos periódicos en puntos críticos de corrosión y desgaste y el cálculo del mínimo requerido de espesor con respecto al caudal y la presión relativamente.

1.3. Formulación del problema

¿Cuál es la relación entre la medición de espesores por ultrasonido y el análisis del desgaste en la tubería forzada de la Central Hidroeléctrica Aricota 2?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Analizar la relación entre la medición de espesores por ultrasonido y el análisis del desgaste en la tubería forzada de la

Central Hidroeléctrica Aricota 2- empresa Egesur S.A., en el año 2018.

1.4.2. Objetivo específico

Analizar el desgaste en la tubería forzada por medio de la medición de espesores por ultrasonido en central hidroeléctrica Aricota 2 - empresa Egesur S.A., en el año 2018

Analizar de desgaste en la tubería forzada mediante el mínimo requerido de espesor de acuerdo a la presión y el caudal en ese punto, aplicando el código ASME B31G y Normas API 579 en la central hidroeléctrica Aricota 2 - empresa Egesur S.A., en el año 2018.

1.5. Justificación e importancia

El estudio del análisis de desgaste en la tubería forzada mediante la medición de espesores por ultrasonido se realiza con la finalidad de llevar datos estadísticos de las condiciones en la que se encuentra actualmente la tubería Forzada, basándose al modelamiento de diseño en su primera operación y averiguar en qué porcentaje se encuentra desgastado actualmente mediante monitoreo periódicos.

Se realiza también para llevar un control de los puntos corroídos por desgaste basándose en el cálculo del mínimo requerido longitudinal y circunferencial.

Por esta razón, considero investigar puntos críticos de desgaste en la tubería y tomar medidas de prevención en casos del llamado golpe de ariete u otras fallas propias de una tubería como la ruptura o fuga del fluido.

1.6. Alcance y limitaciones

1.6.1. Alcances

En la presente investigación se consiguió implementar un análisis de desgastes estadísticamente por año de uso. La presente evaluación se aplica al activo metálico conformado por el ducto de tubería forzada de Aricota 2, evaluando todos los tramos externos donde se tiene acceso para la aplicación de las técnicas y estándares. El ducto está conformado solo por la plancha de acero desarrollado y montado, cabe resaltar también dicha tubería cuenta con bridas que permiten la unión de tubería a tubería y reductores por cada tramo.

No obstante, se logró determinar el mínimo requerido de espesor basándose a las normas Api 579, con respecto a la tubería en

tramos, puesto que su diámetros y espesores varían de acuerdo a las presiones y el caudal.

1.6.2. Limitaciones

En la actualidad no existe investigaciones hechas propiamente a la tubería más que un trabajo informe de la empresa ESCEM. Pero a pesar de estos inconvenientes se realizará esta tesis con el fin de tener un control de avance de corrosión por desgaste.

En el área a investigar es un poco accidentado con pendientes pronunciadas y poca transitabilidad.

1.7. Viabilidad del estudio

En la presente investigación se contó con todos los permisos correspondiente en coordinación con la Gerencia Hidráulica disponiendo de técnicos especialistas en mediciones por ultrasonido contando también con todos los recursos necesarios para dicha investigación como la habilitación del área y equipos y herramientas

1.8. Formulación de hipótesis

Existe una relación significativa entre la medición de espesores por ultrasonido y el desgaste de la tubería forzada en la Central Hidroeléctrica Aricota 2, Empresa Egesur S.A., en el año 2018.

1.9. Variables

1.9.1. Variable Independiente: Medición de espesores por ultrasonido en la Tubería Forzada en la Central Hidroeléctrica.

1.9.2. Variable dependiente: Análisis de desgaste en la Tubería forzada.

1.10. Operacionalización de Variables

Se utilizará variables que comprenden la normas API 579, que vienen a ser el espesor mínimo por esfuerzo circunferencial y longitudinal.

Tabla 1

Operacionalización de las variables

Variable	Dimensión	Indicador
V. Dependiente: Análisis de desgaste en la Tubería forzada.	Disminución de costos de operación y mantenimiento	Incremento de la vida útil de la Tubería
V. Independiente: Medición de espesores por ultrasonido en la Tubería Forzada	Radio interior de la tubería	mm

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

La medición y el análisis de espesores por ultrasonido es una actividad donde no implica seccionar ni mucho menos cortar un material para llegar a los objetivos de medir, calibrar el espesor requerido y analizar el desgaste por el año de uso. Esta metodología de trabajo es muy aplicable en los sectores industriales, ya que es trabajable y muy sencillo de operar, a comparación de otros equipos de medición este solo necesita una pared de la pieza para lograr medir. Es por ello, que se aplica ampliamente para calibrar espesores de materiales como tuberías de alta presión, calderas, recipientes; realizar análisis porcentual de desgaste basándose en el tiempo de operación y el espesor de diseño.

2.1.1. Antecedentes nacionales

Pillaca (2017) en la ciudad de Arequipa, en su tesis **CARACTERIZACIÓN DE FALLAS INTERNAS EN TUBERÍAS DE PROCEOS (MANIFOLD), MEDIANTE LA APLICACIÓN EFECTIVA DE**

ULTRASONIDO, demuestra que, el objetivo fue incorporar procedimientos adecuados para una correcta inspección realizado y en donde concluye que el trabajo por ultrasonido es un detector de discontinuidades en materia y se puede acoplar a la norma ASME B31.3 para tuberías a presión.

Torre (2018) en su trabajo de Suficiencia Profesional titulada EVALUACIÓN DEL CONDUCTO FORZADO DE LA CENTRAL HIDRÁULICA C.H. HUANCA DE SEAL, cuyo objetivo era evaluar el estado del conducto forzado de la central Hidráulica y determinar un diagnóstico en donde concluye que dentro de un ducto de alta presión es necesario realizar diagnósticos de fallas mediante ultrasonido para poder comprobar su operatividad dentro de un sistema.

Agapito (2018) en el trabajo de Suficiencia Profesional titulada EVALUACIÓN DE LA INTEGRIDAD MECÁNICA DE LA TUBERÍA DE MILL SAND MEDIANTE LA TÉCNICA DE ONDAS GUIADAS APLICADA EN LA MINA YANACOCHA - CAJAMARCA, el propósito de la evaluación fue analizar la integridad mecánica de las tuberías de acero al carbono en Mill Sand utilizando la técnica de Ondas Guiadas. Los resultados indican que mediante el uso de ultrasonido y la aplicación de códigos y normas como

API 570, API RP 574, ASME 13, y B31.3, es posible determinar el espesor a retirar, la tasa de corrosión y la vida remanente de la tubería.

2.1.2. Antecedentes internacionales

Pilco Pilco & Toapanta Cajamarca (2014) en el ámbito internacional tenemos a dichos autores con la tesis titulada ANÁLISIS, EVALUACIÓN Y PREVENCIÓN DE FALLAS POTENCIALES MEDIANTE MEDICIÓN DE ESPESORES POR ULTRASONIDO EN BASE A LA NORMA ASTM E- 797 Y BAJO LA APLICACIÓN DE LA NORMA API 570, EN LA CANDERA Y SISTEMA DE VAPOR DEL HOSPITAL DE IESS EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA, cuyo objetivo principal fue analizar, evaluar y prevenir las fallas potenciales mediante la medición de espesores por ultrasonido en base a la norma ASTM E-797 y bajo la aplicación de la norma API 570, en calderas y sistemas de vapor y en donde se concluye que el trabajo por ultrasonido es un trabajo que está presente en los mantenimientos preventivo donde se determina puntos críticos en tuberías por fallas potenciales, basándose en el mínimo el espesor de dicha materia y su mínimo requerido en puesta en marcha, donde manifiesta que la norma ASTM E-797 garantiza el buen procedimiento de una buena inspección realizada.

Martínez (2018) con la tesis titulada PROCEDIMIENTO ESCRITO DE MEDICIÓN DE ESPESORES PARA TUBERÍAS FORZADAS A PRESIÓN, presentada en Cuitlahuac – Veracruz que tiene por objetivo, establecer un procedimiento escrito mediante el método de ensayo no destructivos por inspección de ultrasonido enfocado en la medición de espesores de tuberías forzadas a presión para la central hidroeléctrica en la misma que concluye que la medición de espesores por ultrasonido es una técnica ampliamente usada en la evaluación de espesores en materiales y conocido como un ensayo no destructivo que facilita en la mejora en los planes de mantenimientos.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Generalidades de calibración de espesores por ultrasonido

2.2.1.1. END - Método de ultrasonido

“La ultrasonografía se emplea como un método de evaluación no invasivo que se centra en el estudio de cómo se propagan las ondas sonoras dentro de los materiales examinados, posibilitando así la identificación de defectos significativos.” (Gómez de León E. , 2009) La técnica de ultrasonido emplea haces de ondas sonoras de longitud corta y alta frecuencia que se emiten desde un transductor y se captan ya sea por el mismo transductor o por otro adicional.

Ventajas:

- Permite medir material de distintos mecanismos en caliente sin necesidad de que este deje de operar.
- Se requiere únicamente un solo lado de la pieza a medir y si fuera poco te permite medir recipientes cerrados imposibles de acceder.
- No es necesario cortar y seccionar una parte de la tubería para llegar a realizar la medición correspondiente. A comparación de un vernier o un micrómetro de taller.

Desventaja:

- La principal desventaja es que para realizar esta operación se necesita un contacto directo con el material sin medir el grado de riesgo

2.2.1.2. Funcionamiento y calibración del equipo de ultrasonido

El perfecto funcionamiento del equipo de medición debe ser verificado y propiamente calibrado por un ente autorizado y certificado; con respecto a la calibración de campo consiste en manejar patrones de referencia al comienzo y al finalizar cada inspección realizada

Si se realiza alguna modificación en cualquier componente del sistema de inspección, es necesario llevar a cabo una verificación de la calibración utilizando el bloque de calibración en, al menos, dos de los

espesores de referencia. Esto se realiza con el fin de garantizar que los puntos de referencia en la línea de base temporal cumplan con los requisitos de calibración. En caso de que, durante dicha verificación, se determine que el equipo de prueba no está funcionando adecuadamente, se requiere repetir y registrar todas las lecturas obtenidas desde la última calibración válida del equipo (Pilco Pilco & Toapanta Cajamarca , 2014, pág. 14).

2.2.1.2.1. Constitución y funcionamiento del equipo de ultrasonido

La mayoría de los equipos de inspección por ultrasonido están constituidos por el siguiente equipo básico según (López Lina, 2009):

- Un generador eléctrico de señal o equipo ultrasónico.
- Un transductor que emite un haz de ondas ultrasónicas, al transformar la energía eléctrica a energía mecánica y viceversa.
- Un acoplador para transferir la energía de ondas de ultrasonido al material.
- Un conductor de señal eléctrica, para permitir la comunicación entre el transductor y el equipo emisor/receptor de señales eléctricas.

- Un dispositivo de salida que muestre la información resultante y la proyecte ya sea impresa o en pantalla.
- El material a inspeccionar (pág. 20).

2.2.1.3. Palpador

Los sensores palpadores son dispositivos elaborados con cristales de un grosor específico, los cuales pueden albergar transductores simples o dobles. Es esencial que el diámetro o las dimensiones del transductor sean apropiados para garantizar un acoplamiento del 100% con la superficie que se va a inspeccionar. La función principal del sensor es transformar la energía eléctrica en energía mecánica, o viceversa.

2.2.1.4. Acoplante (gel)

Es un fluido de consistencia viscosa, cuya función principal es eliminar el aire presente entre la superficie del transductor y el material sujeto a inspección. Esto posibilita la propagación de las ondas, ya que las frecuencias utilizadas para materiales metálicos se transmiten de manera eficiente en el aire. Además, se requiere emplear el mismo acoplante tanto para la calibración como para la inspección. La elección del acoplante dependerá del acabado superficial, la posición u orientación de la

superficie, la temperatura presente y las posibles reacciones químicas entre el acoplante y el material. (López Lina, 2009)

Las propiedades del líquido acoplante tienen que cumplir las siguientes expectativas:

- Humectabilidad que hace que la superficie a trabajar se moje al igual que el palpador.
- Viscosidad idónea.
- Con baja atenuación que permita trabajar al 100% el sonido
- Costo accesible.
- Extraíble.
- No tóxico.
- No corrosible.
- Impedancia acústica perfecta para trabajar

Los tipos de acoplantes que generalmente se utilizaron y son fáciles de conseguir en el medio tenemos:

- Agua
- Aceite
- Grasa.
- Glicerina
- Vaselina

2.2.2. Equipo de medición de ultrasonido

- Ultraconic thickness gauge

Tabla 2

Detalles del medidor de espesor

Detalles del producto	
Lugar de origen	Beijing
Marca	HUATEC
Certificación	ISO, CE, GOST
Número de modelo	TG3000

Nota: Tomado de HUATEC, 2010.

Figura 1

Equipo ultrasónico



Nota: Tomado de HUATEC, 2010.

2.2.2.1. Alcance

El medidor de espesor ultrasónico que mide con onda ultrasónica, es aplicable para medir el grosor de cualquier material en el que la onda ultrasónica pueda transmitirse y reflejarse desde la otra cara.

2.2.2.2. Descripción detallada del equipo

Características:

- Capaz de efectuar mediciones en diversos tipos de materiales, que abarcan metales, plásticos, cerámicas, materiales compuestos, epoxis, vidrio y otros materiales con buena conductividad de ondas ultrasónicas.
- Existen transductores diseñados para aplicaciones particulares, incluyendo aquellas que involucran materiales de grano grueso y situaciones de alta temperatura.
- Función de calibración de dos puntos.
- Dos modos de trabajo: modo de punto único y modo de escaneo.
- Indicador de estado de acoplamiento que muestra el estado de acoplamiento.
- Función de apagado automático y apagado automático para conservar la vida útil de la batería.

Datos

Según el manual (HUATEC, 2010)

- Pantalla: LCD de 4,5 dígitos con retroiluminación EL.
- Rango de medición: 0,75 ~ 300 mm (en acero).
- Rango de velocidad de sonido: 1000 ~ 9999 m / s
- Resolución: 0,1 mm
- Exactitud: \pm (0,5% Espesor + 0,04) mm, depende de los materiales y condiciones
- Unidades: unidades métricas / imperiales seleccionables.
- Cuatro lecturas de mediciones por segundo para la medición de punto único, y diez por segundo para el modo de escaneo.
- Memoria de hasta 20 archivos (hasta 99 valores para cada archivo) de valores almacenados.
- Fuente de alimentación: dos pilas alcalinas de tamaño "AA", 1.5 voltios. 100 horas de funcionamiento típico (luz de fondo EL desactivada).
- Dimensiones de línea: 150 x 74 x 32 mm.
- Peso: 238 g. (HUATEC, 2010).

2.2.2.3. Teoría primaria

La teoría principal de medir el grosor con ondas ultrasónicas es similar a la de medir el grosor con ondas ópticas. La onda ultrasónica emitida desde la sonda llega al objeto y transmite en ella. cuando la onda ultrasónica alcanza la superficie de delimitación del material, se refleja de nuevo en el aprobé. El grosor del material puede determinarse midiendo con precisión el tiempo de la onda ultrasónica que transmite en él.

2.2.2.4. Principio de medición

El dispositivo medidor de espesor ultrasónico digital calcula con precisión el grosor de una pieza o estructura al evaluar el tiempo necesario para que un breve impulso ultrasónico generado por un transductor atraviese el espesor del material, se refleje desde la parte posterior o superficie interna, y regrese al transductor. El tiempo de tránsito bidireccional medido se divide por dos para tener en cuenta tanto la ida como la vuelta, y luego se multiplica por la velocidad del sonido en el material. El resultado se expresa en la medida de espesor conocida:

$$H = (v * t) / 2 \quad (1)$$

H = Espíritu de la pieza de prueba

V = velocidad de velocidad en el material

T = el tiempo de tránsito de ida y vuelta medido (HUATEC, 2010)

2.2.2.4.1. Métodos básicos de inspección

Para trabajos de inspección por ultrasonido existen dos métodos de transmisión y el método eco-pulsado. Pero se puede encontrar una gran diferencia entre ellos que es, por ejemplo, el método de transmisión solo toma en cuenta la atenuación de la señal comparado al método eco-pulsado que puede medir los tiempos de tránsito y la atenuación o la baja señal.

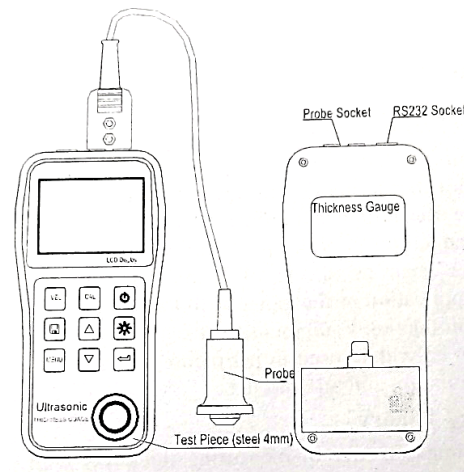
Método eco-pulsado: Este enfoque es el más comúnmente empleado, ya que registra los ecos generados cuando un pulso es reflejado por alguna discontinuidad o defecto en la pieza de trabajo. Este método permite visualizar las imperfecciones en ubicaciones específicas, donde la profundidad se puede calcular a partir del tiempo relativo de tránsito entre el eco generado por una falla y el eco de la superficie de respaldo.

Método de transmisión: este método se suele usar para la detección de fallas en puntos determinados en donde los ecos detectados por la falla no son necesarios para su detección y tiene como única desventaja no poder medir la profundidad de la falla.

2.2.2.5. Forma

Figura 2










Ultrasonic thickness Gauge



Nota: Tomado de HUATEC, 2010.

Figura 3

Comandos del equipo de Medición

	Power ON/OFF		LCD backlight on/off
	sound velocity		Save data / Browse data
	Calibration standard block of 4.0mm		
	Function selector		
	Adjusting sound velocity and thickness; key for moving menu cursor		
	Adjusting sound velocity and thickness; key for moving menu cursor		
	2-point calibration; To be used together with function keys.		

Nota: Tomado de HUATEC, 2010.

2.2.2.6. Calibración

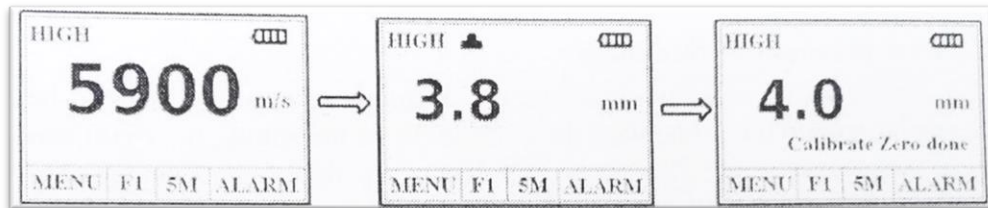
Seleccione la frecuencia correcta del transductor. La velocidad del sonido ajustada a 5900 m / s. mientras que la ganancia está configurada para usar cuando se mide la ganancia. a continuación, la sonda con la caja en el bloque de prueba estándar de 4 mm y muestra buenos signos de acoplamiento de compensación, calibración del punto cero mediante la tecla (CAL).

Instrumentos zumbadores casi al mismo tiempo, las instrucciones de la pantalla para completar la calibración: (Calibrate zero done), que la calibración está completa, mientras que los datos de calibración se almacenan en el instrumento, si desea borrar los datos de calibración, opere de acuerdo con (memory manage).

Si el instrumento anterior a las teclas (CAL) no está bien acoplado con las instrucciones de finalización del bloque de prueba estándar o la calibración de la pantalla no tiene éxito, el instrumento de calibración retendrá el valor original, el proceso de visualización de pantalla como se muestra a continuación:

Figura 4

Calibración



Nota: Tomado de HUATEC, 2010.

Nota:

Después de cada cambio de temperatura de la sonda, cambios de temperatura ambiente, etc. después del entorno de trabajo, o trabajando durante un tiempo después de que los errores de medición de descubrimiento vean que el valor medido del bloque de prueba estándar es exacto, si la diferencia fuera mayor operación.

El grosor de la pantalla calibrada puede estar sesgado $4,0 \pm 0,1$, ahora solo muestra que la calibración es instrucciones completas, sin más calibración.

2.2.3. Procedimiento de evaluación

Las especificaciones sobre el procedimiento y los equipos se pueden verificar empleando las normas ASTM E797/E797M.

Se identifica la zona de inspección y evaluación, se efectúa la limpieza correspondiente, con material que no afecte ni dañe la tubería, se retira cuerpos extraños de la superficie del ducto.

Luego de retirar todo tipo de material extraño como, polvo, tierra, grasa, oxido, suciedad, mediante limpieza mecánica sin arenar. Se procede a efectuar la inspección visual identificando las discontinuidades, fisuras, grietas, golpes, deformaciones graves, fugas de agua, golpes de arco, estado de la protección anticorrosiva externo; para luego evaluar la gravedad y su impacto para la Aptitud para el Servicio, no se aceptan los daños graves, así como fisuras, grietas, corrosión grave generalizada externa.

El espesor de la pintura

Es importante mencionar que la pintura juega un papel dentro de esta medición de espesores ya que consta su propia medida de recubrimiento epóxico.

Muchas veces, cuando se realiza el mantenimiento preventivo en industria, es necesario medir el espesor restante de los materiales metálicos que están sometidos a la corrosión a través de una o varias capas de pintura o de otro tipo de revestimiento no metálico parecido. La presencia de dichos factores ya mencionados provoca error en la medición que aumenta usualmente el espesor del metal aparente hasta dos veces

más que el espesor de la pintura. Debido específicamente a la velocidad acústica más baja de la pintura.

Por ejemplo, para este tipo de tuberías se recomienda usar pintura marina Epóxica JET TAR 8 - 12 mils en 2 capas (200 - 300 micrones) 15 – 20 mils en 1 capa (375 – 500 micrones), en donde 1 mils es igual a 0.0254 milímetros

2.2.4. Procedimiento de cálculo del Espesor mínimo requerido.

Estándares empleados

- Normas ASME B31G

“Este estándar constituye la guía para evaluar la resistencia remanente de las tuberías afectadas por corrosión. Su propósito es respaldar a los operadores de tuberías al tomar decisiones sobre el mantenimiento seguro de las tuberías con defectos de corrosión, permitiendo que estas continúen operando de manera segura con la presión máxima establecida para el sistema en funcionamiento” (Hernández Ayala & García García, 2010, pág. 26)

- B31.1. Tuberías de alimentación
- B31.3. Tuberías de proceso
- B31.9. Servicio de construcción de tuberías.
- B31G-1991. Manual para determinar la resistencia de Tuberías corroídas (Hernández Ayala & García García, 2010).

– **Normas ASTM E-797**

Este manual práctico establece los estándares para la medición de espesores mediante ultrasonido utilizando el método de contacto manual pulso-eco. Proporciona instrucciones detalladas sobre la calibración del equipo y ofrece diversas recomendaciones para lograr resultados óptimos al realizar esta práctica (Pilco Pilco & Toapanta Cajamarca , 2014).

En esta instancia de la inspección, es crucial conocer el espesor (t) al utilizar el método ultrasónico pulso-eco. Este espesor se calcula como el producto de la velocidad del sonido en el material y la mitad del tiempo de tránsito, que corresponde al tiempo de ida y vuelta a través del material.

$$T = \frac{v*t}{2} \quad (2)$$

Donde:

T = Espesor, en mm.

v = Velocidad, en m/s.

t = Tiempo de tránsito, en s

El equipo de ultrasonido se encarga de medir el tiempo que tarda el pulso ultrasónico en atravesar la pieza. Por otro lado, la velocidad del pulso está determinada por las propiedades físicas del material, y cada tipo de material tiene su propia constante asociada. Al iniciar la práctica, se requiere al menos un bloque de referencia para obtener una velocidad conocida, el cual puede ser de un material con propiedades bien conocidas o de algunos materiales examinados previamente, los cuales posean espesores medidos con precisión y se encuentren dentro del rango de espesores a ser medido. Se sugiere que los espesores de los bloques sean valores redondos, y se aconseja que un bloque tenga un valor de espesor cercano al máximo del rango de interés, mientras que el otro debería aproximarse al espesor mínimo (Pilco Pilco & Toapanta Cajamarca, 2014, pág. 19).

– **Normas API 579**

Es la norma que encarga en determinar los parámetros y los criterios de evaluación, para verificar el estado en la cual se encuentra las tuberías que son sometidos a la técnica de medición y calibración de espesores por ultrasonido, así como también especifica opciones y recomendaciones para averías en el componente con apoyo de otras normas. “la norma API 5L también puede emplearse para el transporte de otros líquidos como vapor, agua, o lodo” (Energy API, February 2009).

– **Normas JIS G3106**

“Fue fundada en 1946 y tiene su sede en Tokio, Japón. Desempeña un papel fundamental en las iniciativas de normalización en Japón, encargándose de establecer y mantener las JIS (normas japonesas).

– **ASTM E165 anexo AI**

Empleados según su aplicación para la siguiente inspección.

2.2.5. Determinación del espesor mínimo requerido

Para determinar el espesor mínimo requerido, se debe emplear las ecuaciones determinadas en el API 579 / ASME FFS -1, Anexo A. En el cual considera los efectos de la presión interna, el esfuerzo del material, las condiciones de operación, la tolerancia de corrosión interna, efectuando un análisis de nivel de evaluación 1, dado que el espesor medido se encuentra dentro de los rangos de diseño. En dicho apéndice se tiene.

- El espesor mínimo por esfuerzos circunferenciales es:

$$t_{min}^c = \frac{P R}{SE - 0.6P} \quad (\text{Energy API, February 2009}) \quad (3)$$

- El espesor mínimo por esfuerzos longitudinales es:

$$t_{min}^L = \frac{P R}{2SE + 0.4P} \quad (\text{Energy API, February 2009}) \quad (4)$$

- El espesor mínimo requerido es:

$$t_{req} = \text{Max} (t_{min}^c, t_{min}^L) \quad (\text{Energy API, February 2009}) \quad (5)$$

Donde:

- P : Presión interna, psi.
- D : Diámetro interior de la tubería, pulg.
- R : Radio interior de la tubería menos t_c , pulg.

E	: Eficiencia de la junta
S	: Esfuerzo de fluencia del material, psi.
t_{min}^c	: Espesor min por esfuerzos circunferenciales, pulg
t_{min}^L	: Espesor min por esfuerzos longitudinales, pulg
t_{req}	: Espesor mínimo requerido, mm
tc	: Tolerancia de corrosión según JIS para los materiales indicados, pulg.

En donde es importante identificar el tipo de presión que tomaremos en cuenta.

- Presión de fabrica o diseño (Pf): es aquella presión limite, que se debe superar en fabrica sin que este material se rompa ni carecer falta de estanqueidad.
- Presión Nominal: Es aquella variable que se utiliza para tipificar o clasificar las tuberías, es un número que normalmente coincide con la presión de trabajo.
- Presión de Rotura: es aquella a la cual se fractura y rompe la tubería.
- Presión de trabajo: es la máxima presión que se recomienda para el trabajo de la tubería ya que este se define como la máxima presión interna a que puede estar sometido dicho material. Constituida por

la presión de servicio más las sobrepresiones accidentales que pudieran producirse, como lo puede ser el fenómeno llamado golpe de ariete

- Presión de servicio: es la presión a la que se encuentra trabajando, en donde normalmente de ser menor o igual a la presión de trabajo

2.2.6. Desgaste en tuberías forzada

2.2.6.1. Desgaste abrasivo

Este fenómeno presenta en muchos sistemas de procesos productivos, en donde el material es removido debido al movimiento de partículas duras que pasan sobre la superficie ocasionando este tipo de desgaste.

El desgaste abrasivo es una falla difícil de evitarla y normalmente se presenta en diferentes mecanismos sometidos al contacto y al movimiento relativo en a partículas abrasivas.

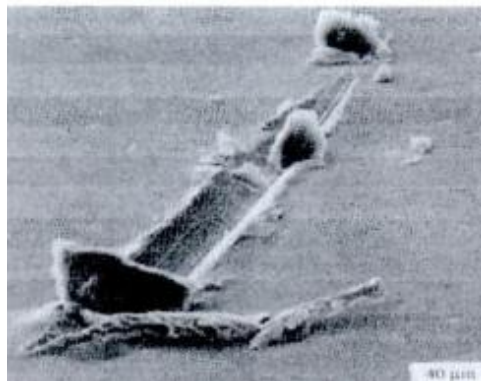
Fundamentalmente, esta situación no provoca fallas severas, "pero sí resulta en la disminución de la eficiencia operativa, la pérdida de potencia debido a la fricción y el aumento del consumo excesivo de energía" (Valderrama, 2003, pág. 48). En última instancia, puede llevar al reemplazo de componentes

desgastados y, en algunos casos, a la obsolescencia completa de las máquinas.

Cuando hay un deslizamiento, la superficie más blanda pierde material debido a la acción combinada de dos mecanismos: micro arados y micro cortes. Este fenómeno se denomina desgaste abrasivo de dos cuerpos. Si se introducen arenas o partículas duras en la interfaz, se produce la abrasión conocida como de tres cuerpos. Además, existe un tercer mecanismo llamado fractura frágil, donde una carga puntual aplicada a un sólido genera una grieta que tiende a propagarse radialmente desde la superficie cuando se libera la carga.

Figura 5

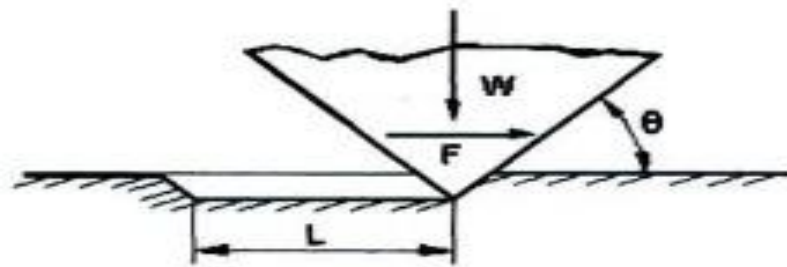
Acción de una partícula abrasiva sobre una superficie metálica



Nota: Adaptado de Valderrama, 2003.

Figura 6

Partícula abrasiva generando una huella de desgaste



Nota: Adaptado de Valderrama, 2003.

La representación gráfica del desgaste abrasivo se presenta en la Figura 6, donde una rugosidad de configuración cónica se desplaza a lo largo de una distancia L con un ángulo de inclinación, bajo la influencia de una carga normal W . Esta rugosidad se incrusta en la superficie del cuerpo de menor dureza, que tiene una dureza H .

2.2.6.2. Desgaste adhesivo

Esto se genera cuando dos superficies se deslizan una encima de otra, provocando fuerzas adhesivas muy fuertes desprendiendo fragmentos de una superficie que se adhieren a otra.

El desgaste adhesivo consiste en un desconchamiento de material, en una o ambas superficies en contacto, por la acción de las partículas desprendidas de una superficie que obligan al desprendimiento de las partículas de la otra superficie, por tanto, el desgaste adhesivo es originado por la fricción existente entre las superficies que deslizan.

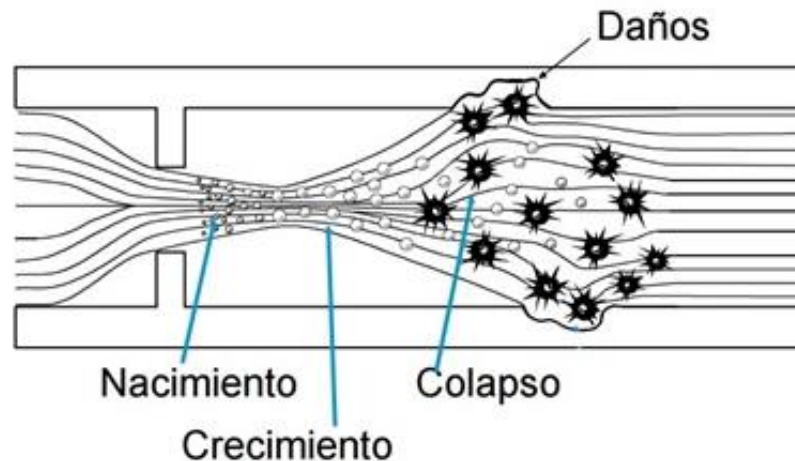
2.2.6.3. Desgaste erosivo

Es provocado debido a flujos que trasladan sustancias químicas que hacen que impacten a la superficie de la pieza. Cabe destacar dos tipos de erosión líquida:

Cavitación, Es un fenómeno hidrodinámico que ocurre cuando un fluido que contiene gas disuelto ingresa a una zona de baja presión. Las burbujas presentes tienden a formarse y aumentar en el fluido en la región de baja presión, pero tienden a colapsar cuando la presión del fluido aumenta. El colapso de las burbujas bajo alta presión genera una onda de choque local, ejerciendo una presión considerable, a veces de miles de atmósferas, sobre el material circundante. La cavitación se manifiesta en diversas estructuras, como presas, vertederos, hélices y también en bombas hidráulicas.

Figura 7

Origen de la cavitación



Colisión líquida: Surge cuando gotas de un fluido son transportadas en un gas a una velocidad elevada, y estas impactan contra una superficie. Se generan elevadas presiones en áreas específicas debido al impacto inicial y al desplazamiento lateral de las gotas desde el punto de impacto a lo largo de la superficie metálica. Las gotas de agua llevadas por vapor tienen el potencial de causar daños por erosión en las palas de las turbinas utilizadas en generadores de vapor, especialmente en instalaciones nucleares.

2.2.6.4. Desgaste fatiga

Se reconoce teóricamente que un material sujeto a tensiones alternantes no experimentará fallos por fatiga, es decir, puede resistir un número infinito de ciclos cuando las tensiones están

por debajo de ciertos umbrales críticos. No obstante, en la realidad, incluso en ambientes corrosivos y con tensiones considerablemente inferiores a los umbrales críticos, el metal eventualmente falla después de un cierto número de ciclos. Este proceso de fallo comienza con la formación de grietas en la superficie del material y se atribuye a la intervención de procesos corrosivos, lo que se conoce como corrosión por fatiga.

Pérdidas en tuberías en la ecuación de energía.

$$Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + h_A - h_R - h_L = Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} \quad (6)$$

Pérdidas Primarias: se produce cuando el fluido entra en contacto con la superficie de la tubería, provocando roce o fricción ente capas denominándolo flujo laminado o partículas de fluido denominándolo flujo turbulento. Este tipo de pérdida se presenta en tramos de tuberías horizontales y diámetro constante.

$$h_l = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (7)$$

Pérdidas secundarias: se presentan en transiciones de toda la tubería como la reducción o ampliación y en toda clase de accesorios como lo pueden ser codos de 90°, codas de 45°, válvulas, etc.

$$h_s = K_s \frac{v^2}{2g} \quad (8)$$

2.3. Definiciones de términos

El golpe de ariete. - Este fenómeno se origina a partir de una alteración abrupta en el flujo de un fluido dentro de un conducto sellado, generando cambios en la presión y/o vibraciones. Este cambio mencionado puede ser ocasionado por una restricción en la sección, un cambio súbito en la dirección o el cierre repentino de una válvula.

Normas ASME B31G. - Este estándar actúa como la guía para evaluar la resistencia remanente de las tuberías afectadas por corrosión. Funciona como un respaldo para los operadores de las tuberías al tomar decisiones sobre el mantenimiento seguro de la tubería, permitiéndoles operar con defectos por corrosión de manera segura bajo la presión máxima de operación definida para el sistema en funcionamiento.

Normas ASTM E-797. - Manual práctico estándar para medición de espesores por ultrasonido por contacto manual pulso-eco e indica la forma

de calibración del equipo, además hace mención varias recomendaciones para obtener un mejor resultado en el momento de realizar dicha práctica.

Normas API 579.- Es la norma que encarga en determinar los parámetros y los criterios de evaluación, para verificar el estado en la cual se encuentra las tuberías que son sometidos a la técnica de medición y calibración de espesores por ultrasonido, así como también especifica opciones y recomendaciones para averías en el componente con apoyo de otras normas. “la norma API 5L también puede emplearse para el transporte de otros líquidos como vapor, agua, o lodo” (Energy API, February 2009).

Normas JIS G3106. - Fue fundada en 1946 y tiene su sede en Tokio, Japón. Desempeña un papel central en las iniciativas de normalización en Japón, encargándose de establecer y mantener las JIS, que son la referencia de normas japonesas., fue decretada en 1949 y revisada 2004 y ve la calidad del material. (Riba, 2008)

ASTM E165 anexo A1. - Empleados según su aplicación para la siguiente inspección.

ASME. - American Society of Mechanical Engineers.

API. - American Petroleum Institute.

JIS. - Normas Industriales Japonesas.

ASTM. - American Society For Testing and Materials.

END. - Ensayo No Destructivo.

EGESUR. - Empresa de Generación Eléctricas del Sur.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Planteamiento metodológico

El principal método que se trabajo es el Sistémico puesto que va relacionado con el funcionamiento de la Central.

3.1.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es Aplicada - Tecnológica

3.1.2. Nivel de investigación

De acuerdo a la naturaleza del estudio de la investigación, es un estudio Descriptivo.

3.1.3. Diseño de la investigación

El diseño de investigación es de Campo – Experimental.

3.2. Unidad de observación

Tubería Forzada de la Central hidroeléctrica Aricota II.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población: La Central Hidroeléctrica, específicamente la tubería forzada Aricota 2; Todas las mediciones realizadas en campo.

3.3.2. Muestra: Medición a cada 2 metros de la Tubería Forzada de la Central Hidroeléctrica.

3.4. Equipos y Materiales

- Equipo ultrasónico Ultrasonic thickness Gauge – Huatec
- Laptop para procesar datos.
- La tubería forzada a estudiar.
- Hoja de apunte y cálculo de medidas por cada tramo.
- Gel ultrasónico.

3.5. Procesamiento de las pruebas experimentales

Se recolectará la data de las mediciones hechas anteriormente y se efectuará una relación significativa entre el desgaste y tiempo de uso, mediante las mediciones por ultrasonido del año 2011 hecha por la empresa ESCEM y la medición obtenida en 2018, el cálculo del mínimo requerido obtenido bajo los estándares de la norma API 579

3.6. Técnicas de recolección de Datos

Se determinará el material que fue usado y el cual se estudiará basándose a sus normas usadas en esos tiempos, se determina el

material - Acero 1018 y mediante eso se determina la velocidad y se toman medidas a cada dos metros de la tubería a 90°

Tabla 3

Velocidades de materiales predefinidos

Número de material de Elcometer	Descripción del material (Símbolo/grupo químico)	Nombre del material	Velocidad del sonido (m/sec)	Velocidad del sonido (in/μsec)	Fuente del valor NPL = National Physics Laboratory ASNT = The American Society for Non destructive Testing Sector = conocimiento del sector
1	Fe	Hierro (dulce)	5960	0,235	NPL
2	Fe	Fundición de hierro	4990	0,196	NPL
3	Al	Aluminio (7075-T6)	6350	0,250	ASNT
4	Ti	Titanio	6100	0,240	ASNT
5	Mg	Magnesio	5790	0,228	ASNT
6	Ni	Níquel	5630	0,222	ASNT
7	W	Wolframio	5180	0,204	ASNT
8	Cu	Cobre	4660	0,183	ASNT
9	Zn	Cinc	4190	0,165	NPL
10	Ag	Plata	3600	0,142	Sector
11	Sn	Estaño	3380	0,133	NPL
12	Pt	Platino	3260	0,128	NPL
13	Au	Oro	3240	0,128	NPL
14	Cd	Cadmio	2780	0,109	NPL
15	Bi	Bismuto	2180	0,086	Sector
16	Pb	Plomo	2160	0,085	ASNT
17	Aleación de cobalto-cromo	Estelite	6990	0,275	Sector

18	Aleación de hierro	Acero (Carbono 1018)	5920	0,233	Sector
19	Aleación de hierro	Acero (Aleación 4340)	5850	0,230	Sector

Nota: Manual Elcometer NDT de gamas MTG y PTG.

Tabla 4

Registro de espesores por valores circunferenciales

REGISTROS DE ESPESORES - PRIMER TRAMO								
LONGITUD	649 metros	DIAMETRO	1200 milímetros	ESPESOR	6 milímetros			
Velocidad de Ultrasonido del material:				5920 m/s				
N°	VALOR PUNTUAL POR CIRCUNFERENCIA				FUNCION			Mínimo
	A	B	C	D	Mínimo	Máximo	Promedio	Requerido
Anclaje móvil	Punto	milímetros (mm)						
Anclaje N° 01	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	6							
	7							

3.7. Técnicas para el procesamiento de datos

Para el tema netamente de procesamiento, se tomará todos los apuntes y se pasará en el Excel para el tema de cálculo de mínimo requerido y gráficos de desgaste en relación a distintos tiempos y el software estadístico.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Descripción de las pruebas experimentales

4.1.1. Activo metálico Inspeccionado

Tabla 5

Datos generales de la tubería forzada

DATOS GENERALES		
• Planta	:	Central Hidroeléctrica de Aricota II
• Unidad	:	Tubería Forzada de Aricota II
• Norma del Material	:	Normas Japonesas JIS-
• Material	:	SM-41-B, SM-50-B, HT-60
• Año de Fabricación	:	Año 1966
• Altura Útil	:	312 metros
• Longitud	:	649 metros
• Diámetro	:	(1,2 – 0,85) metros
• Altitud (superior)	:	2076,6m.s.n.m.
• Altitud (inferior)	:	1752,0 m.s.n.m.

4.1.2. Análisis

Primeramente, se realizó la inspección visual de todo el largo de tubería, analizando los accesos, puntos críticos, puntos

trabajables, puesto que el terreno es accidentado y es importante tomar todo tipo de medidas para llegar a tomar todas las mediciones posibles para poder determinar un resultado válido para este análisis y calibración de la tubería de Fuerza.

Figura 8

Tubería forzada desde cámara de Carga de Aricota 2



Procedimiento para la evaluación del Material:

- La identificación de cotas (m.s.n.m.) para cada segmento de la tubería en los puntos de quiebre
- La Identificación del diámetro en cada tramo o segmento de la tubería.

- La Calibración de espesores, en forma circunferencial y en cuatro puntos de la circunferencia a 90° así como se muestra en la figura 09, la distancia entre las circunferencias fue de dos metros, la técnica empleada fue por ultrasonido, según la norma internacional. En las zonas accesibles.

Figura 9

Puntos para medición de espesores en tubería



- Se efectúa la limpieza de la zona donde se efectuará la calibración del espesor, según el Standard ASTM E-165 Anexo A1. Retirando todo tipo de cuerpo extraño.
- Se efectúa el procedimiento de calibración por ultrasonido Haz Normal (UT), empleando el equipo de calibración.

Figura 10

Equipo de ultrasonido con que se trabajo



- Se efectúa la calibración del cuerpo del ducto, según el patrón del equipo de calibración, y tomando en consideración las circunferencias y los puntos de toma de datos.
- Con la información tomada, se evalúa el estado y Aptitud para el Servicio del ducto. En caso de detectar pérdida de material generalizada se aplica el API 579, para lo cual se considera dicho estándar internacional.

Determinación de velocidad del material trabajado

Según su fabricación de la tubería y sus parámetros que rigen las normas establecidas se determina que el material es una aleación de hierro (Acero – carbono 1018) cuya velocidad del sonido es 5920m/s, como se aprecia en la tabla 03.

ACERO AL CARBONO AISI 1018: Se trata de un tipo de acero con bajos niveles de carbono, reconocido por su excelente capacidad de soldadura, facilidad para ser maquinado, alta resistencia y propiedades de impacto sobresalientes, tanto en su estado normalizado como después de ser forjado en caliente. El acero SAE1018 / AISI1018 es ampliamente empleado en la fabricación de componentes como tornillos, ejes, pasadores, husillos, varillas y tuberías.

Tabla 6

Composicion química del acero al Carbono ISI1018 - ASTM A29

Calificación	C	Si	Minnesota	PAG	S
1018	0,15 –	0,15 –	0,60 – 0,90	≤	≤
	0,20	0,35		0,040	0,050

Nota: Adaptado de Producto Aisi-1018

Tabla 7*Tamaño, Tolerancia y proceso del acero al Carbono ISI1018*

Forma	Tamaño (mm)	Proceso	Tolerancia	Longitud (mm)
Redondo	Ø6 - Ø50	Estirado e Frío	H11	3000 - 5800
Redondo	Ø40 - Ø300	Laminado en caliente	-0 / +3 mm	3000 - 10000
Redondo	Ø120 - Ø1000	Forjado en caliente	-0 / +3 mm	3000 - 10000
Plano/ Cuadrado/ Bloque	Espesor:120- 800 Ancho:120 - 1500	Forjado en caliente	-0 / +3 mm	500 - 6000

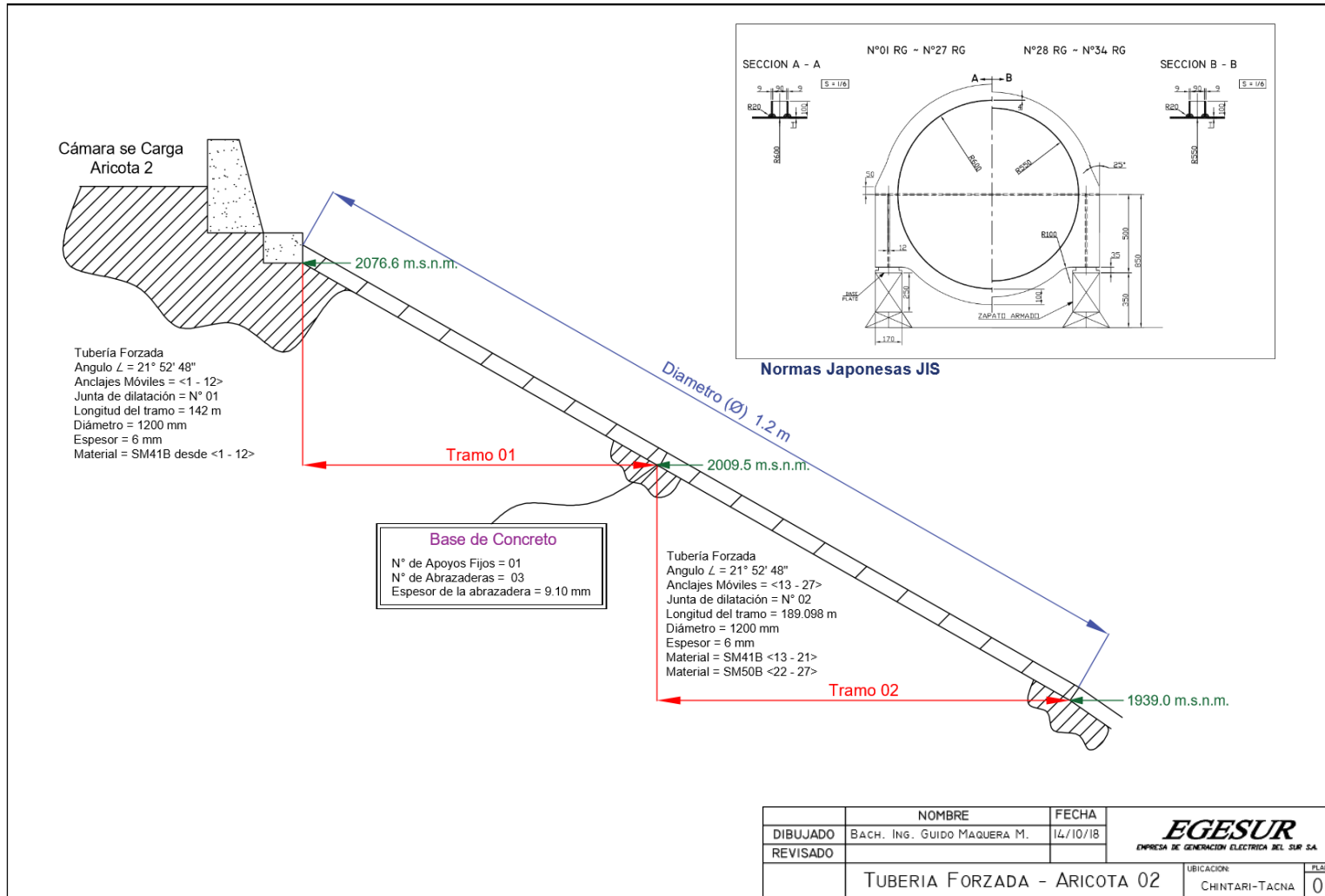
Nota: Adaptado de Producto Aisi-1018

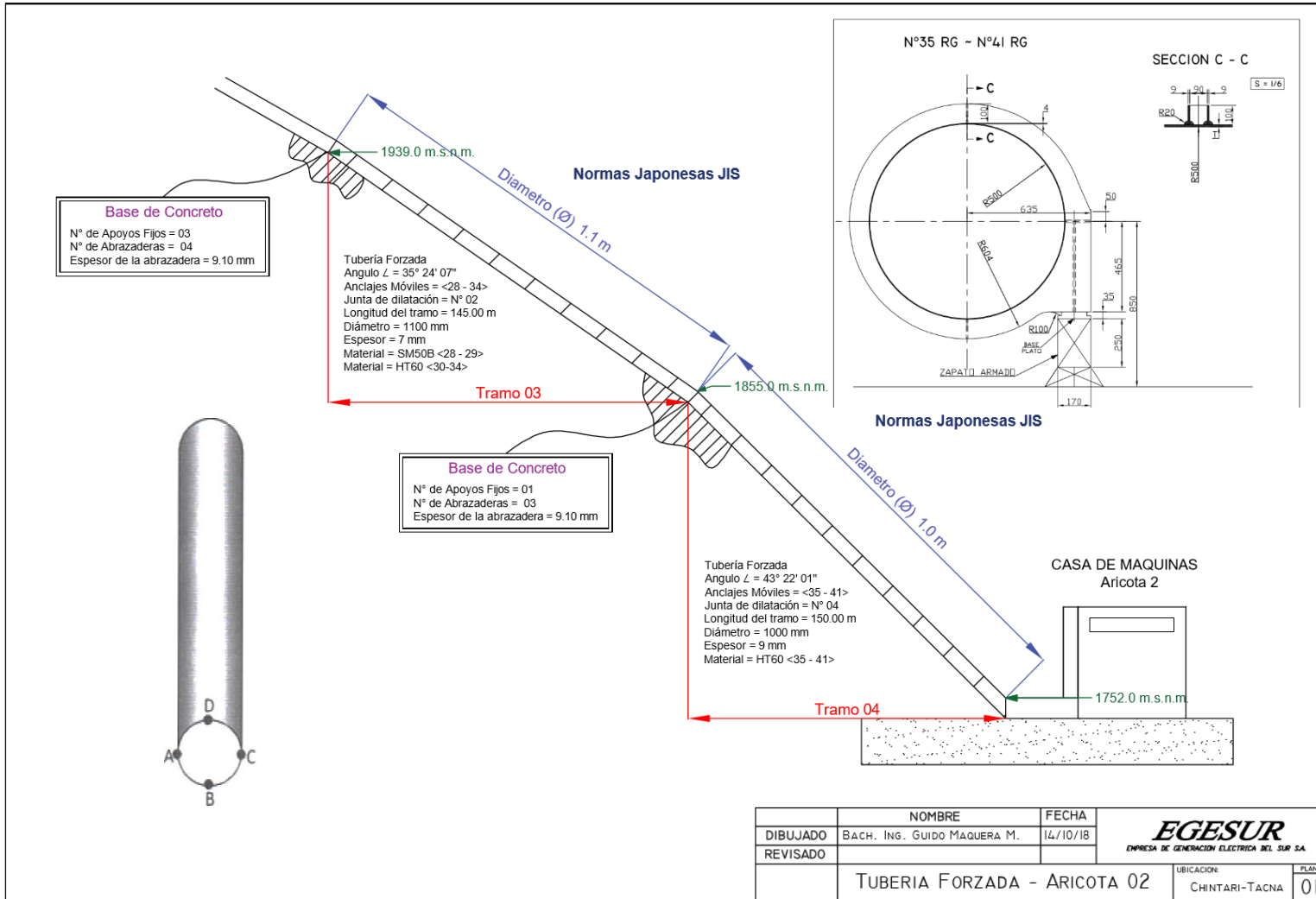
4.1.3. Esquema global de la Tubería Forzada – Central Hidroeléctrica Aricota II

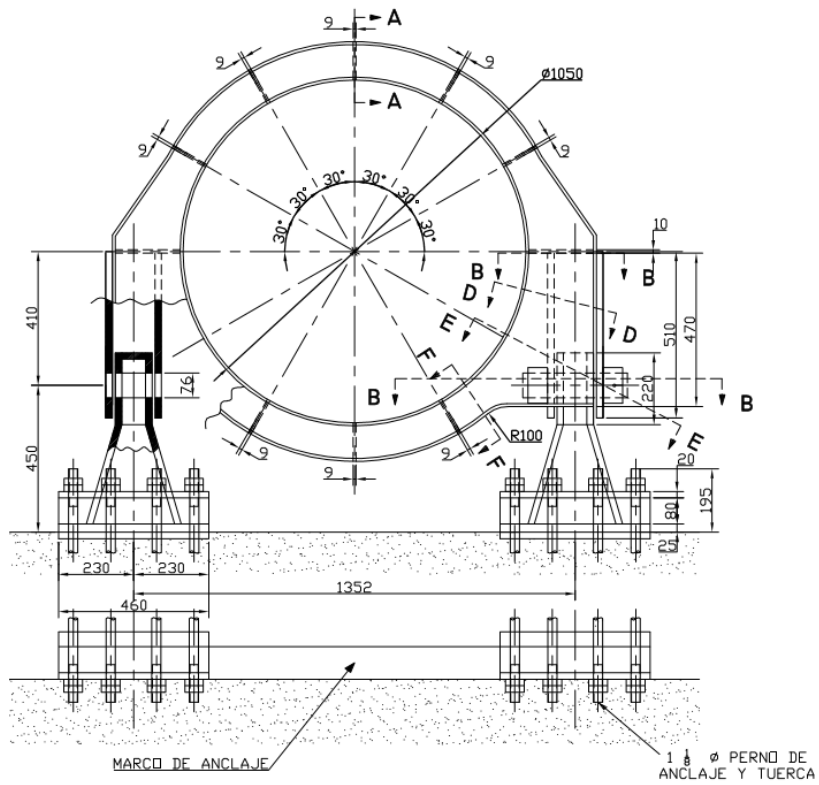
A continuación:

Figuras 11, 12 y 13: Planos esquemáticos de detalles de tubería y accesorios primarios.

Nota: Elaboración Propia, AutoCAD.

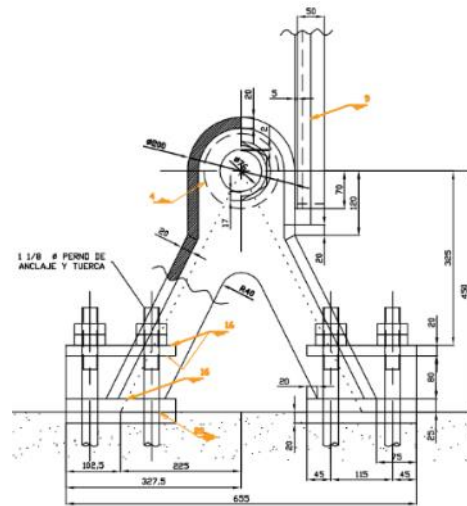
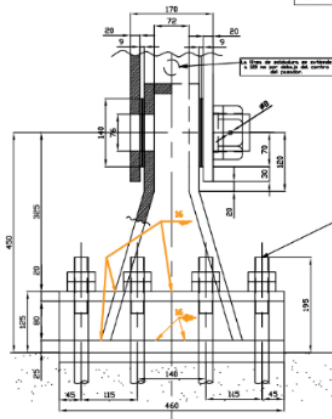






DETALLES DEL PEDESTAL

S = 1/5



	NOMBRE	FECHA	EGESUR EMPRESA DE GENERACION ELECTROICA DEL SUR SA
DIBUJADO	BACH. ING. GUIDO MAQUERA M.	14/10/18	
REVISADO			UBICACION CHINTAR-TACNA
DETALLES DE TUBERIA FORZADA			PLANO: 02

4.1.4. Resultados de la medición en tramos por diámetro

4.1.4.1. Datos obtenidos en el tramo 01 – diámetro 1200mm

Tabla 8

Mediciones de espesores en el primer tramo

REGISTROS DE ESPESORES - PRIMER TRAMO												
LONGITUD		649	metros		DIAMETRO	1200	milímetros		ESPESOR	6	milímetros	
Velocidad de Ultrasonido del material:							5920 m/s					
N°	VALOR PUNTUAL POR CIRCUNFERENCIA				FUNCION			Mínimo				
	A	B	C	D	Mínimo	Máximo	Promedio	Requerido				
Anclaje móvil	Punto	milímetros (mm)										
Anclaje N° 01	1	6,98	7,19	6,98	7,05	6,98	7,19	7,05	0,91			
	2	6,81	6,98	6,74	6,75	6,74	6,98	6,82	0,91			
	3	6,44	6,45	6,49	6,51	6,44	6,51	6,47	0,91			
	4	6,58	6,43	6,43	6,43	6,43	6,58	6,47	0,91			
	5	6,6	6,6	6,58	6,6	6,58	6,6	6,6	0,91			
	6	6,6	6,57	6,51	6,6	6,51	6,6	6,57	0,91			
	7	6,74	6,74	6,6	6,75	6,6	6,75	6,71	0,91			
Anclaje N° 02	8	6,51	6,45	6,28	6,35	6,28	6,51	6,4	0,91			
	9	6,51	6,37	6,28	6,28	6,28	6,51	6,36	0,91			
	10	6,36	6,38	6,43	6,22	6,22	6,43	6,35	0,91			
	11	6,43	6,43	6,44	6,35	6,35	6,44	6,41	0,91			
	12	6,56	6,54	6,75	6,59	6,54	6,75	6,61	0,91			
	13	6,52	6,51	6,6	6,51	6,51	6,6	6,54	0,91			
	14	6,51	6,58	6,28	6,51	6,28	6,58	6,47	0,91			
Anc laje N°	15	6,43	6,51	6,36	6,29	6,29	6,51	6,4	0,91			

	16	6,43	6,45	6,43	6,36	6,36	6,45	6,42	0,91
	17	6,58	6,51	6,58	6,53	6,51	6,58	6,55	0,91
	18	6,44	6,43	6,52	6,51	6,43	6,52	6,48	0,91
	19	6,51	6,44	6,59	6,6	6,44	6,6	6,54	0,91
	20	6,6	6,51	6,6	6,74	6,51	6,74	6,61	0,91
Anclaje N° 04	21	6,91	6,6	6,81	6,9	6,6	6,91	6,81	0,91
	22	6,51	6,51	6,43	6,37	6,37	6,51	6,46	0,91
	23	6,35	6,37	6,36	6,35	6,35	6,37	6,36	0,91
	24	6,19	6,36	6,36	6,28	6,19	6,36	6,3	0,91
	25	6,67	6,81	6,82	6,74	6,67	6,82	6,76	0,91
	26	6,42	6,65	6,57	6,53	6,42	6,65	6,54	0,91
	27	6,42	6,48	6,52	6,52	6,42	6,52	6,49	0,91
Anclaje N° 05	28	6,44	6,05	6,43	6,28	6,05	6,44	6,3	0,91
	29	6,43	6,43	6,52	6,28	6,28	6,52	6,42	0,91
	30	6,75	6,43	6,75	6,57	6,43	6,75	6,63	0,91
	31	6,53	6,51	6,58	6,52	6,51	6,58	6,54	0,91
	32	6,44	6,35	6,52	6,44	6,35	6,52	6,44	0,91
	33	6,04	6,6	6,57	6,59	6,04	6,6	6,45	0,91
Anclaje N° 06	34	6,44	6,58	6,43	6,44	6,43	6,58	6,47	0,91
	35	6,35	6,43	6,35	6,05	6,05	6,43	6,3	0,91
	36	6,58	6,6	6,6	6,6	6,58	6,6	6,6	0,91
	37	6,81	6,81	6,81	6,81	6,81	6,81	6,81	0,91
	38	6,2	6,28	6,58	6,2	6,2	6,58	6,32	0,91
	39	6,13	5,55	6,22	6,22	5,55	6,22	6,03	0,91
Anclaje N° 07	40	6,04	6,14	5,66	6,28	5,66	6,28	6,03	0,91
	41	6,36	6,13	6,6	6,52	6,13	6,6	6,4	0,91
	42	5,52	6,43	6,07	5,75	5,52	6,43	5,94	0,91
	43	6,04	6,45	6,35	5,97	5,97	6,45	6,2	0,91
	44	6,13	6,6	6,43	6,35	6,13	6,6	6,38	0,91
	45	6,28	6,51	6,53	6,44	6,28	6,53	6,44	0,91
	46	6,04	6,62	6,35	5,97	5,97	6,62	6,25	0,91
Anc laje N°	47	6,58	6,61	5,52	6,36	5,52	6,61	6,27	0,91

	48	6,35	6,6	6,6	6,28	6,28	6,6	6,46	0,91
	49	6,51	6,9	7,05	6,35	6,35	7,05	6,7	0,91
	50	6,05	6,13	6,61	6,51	6,05	6,61	6,33	0,91
	51	6,74	6,29	6,74	6,6	6,29	6,74	6,59	0,91
	52	6,59	6,22	6,51	6,51	6,22	6,59	6,46	0,91
Anclaje N° 09	53	6,51	5,89	6,52	6,29	5,89	6,52	6,3	0,91
	54	6,74	6,75	6,6	6,28	6,28	6,75	6,59	0,91
	55	6,51	6,44	6,59	6,43	6,43	6,59	6,49	0,91
	56	6,21	6,51	6,59	6,43	6,21	6,59	6,44	0,91
	57	6,35	6,45	6,51	6,04	6,04	6,51	6,34	0,91
	58	6,2	6,6	6,58	6,43	6,2	6,6	6,45	0,91
	59	6,43	5,6	6,35	6,21	5,6	6,43	6,15	0,91
	60	6,35	6,04	6,52	6,13	6,04	6,52	6,26	0,91
Anclaje N° 10	61	6,6	6,59	6,51	6,45	6,45	6,6	6,54	0,91
	62	6,6	6,74	6,58	6,6	6,58	6,74	6,63	0,91
	63	6,43	6,25	6,36	6,44	6,25	6,44	6,37	0,91
	64	5,89	6,52	6,51	6,2	5,89	6,52	6,28	0,91
	65	6,35	6,35	5,74	6,28	5,74	6,35	6,18	0,91
	66	6,43	6,45	6,51	5,89	5,89	6,51	6,32	0,91
	67	6,43	6,13	6,44	6,05	6,05	6,44	6,26	0,91
Anclaje N° 11	68	6,21	5,97	6,28	6,35	5,97	6,35	6,2	0,91
	69	6,6	6,74	6,58	6,61	6,58	6,74	6,63	0,91
	70	6,45	5,82	6,51	6,58	5,82	6,58	6,34	0,91
	71	6,28	6,51	6,53	6,35	6,28	6,53	6,42	0,91
	72	6,6	6,51	6,51	6,51	6,51	6,6	6,53	0,91
	73	6,74	6,6	6,76	6,81	6,6	6,81	6,73	0,91
Anclaje N° 12	74	6,81	6,79	6,9	6,91	6,79	6,91	6,85	0,91
	75	6,58	6,46	6,58	6,6	6,46	6,6	6,56	0,91
	76	6,58	6,74	6,51	6,59	6,51	6,74	6,61	0,91
	77	6,43	6,58	6,35	6,36	6,35	6,58	6,43	0,91
	78	6,37	6,51	6,36	6,44	6,36	6,51	6,42	0,91
	79	6,35	6,43	6,51	6,43	6,35	6,51	6,43	0,91

	80	6,51	5,69	6,51	6,43	5,69	6,51	6,29	0,91
	81	6,52	5,89	6,14	6,28	5,89	6,52	6,21	0,91
Anclaje N° 13	82	6,35	6,36	5,91	6,43	5,91	6,43	6,26	0,91
	83	6,45	6,43	6,44	6,43	6,43	6,45	6,44	0,91
	84	8,65	8,49	8,67	8,72	8,49	8,72	8,63	0,91

Inspección visual:

Figura 14

En el punto 16 se ubicado un sensor de caudal de ultrasonido



Figuras 15 y 16

Anclaje móvil en el subtramo



Figura 17

Procedimiento adecuado para una buena medición de espesores



Colocación de gel ultrasónico



Calibración del equipo – 4,00mm



Toma de medida con el Equipo

Figura 18

Ventana de Inspección en el punto 80 de la muestra



Figura 19

Primera junta de dilatación de 5 a 7 etapas de Orings entre los puntos 83d



4.1.4.2. Datos obtenidos en el tramo 02 – diámetro 1200mm

Tabla 9

Mediciones de espesores en el segundo tramo

REGISTROS DE ESPESORES - SEGUNDO TRAMO										
LONGITUD	649	metros	DIAMETRO	1200	milímetros	ESPESOR	6	milímetros		
Velocidad de Ultrasonido del material:						5920 m/s				
N°	VALOR PUNTUAL POR CIRCUNFERENCIA				FUNCION			Minimo		
	A	B	C	D	Mínimo	Máximo	Promedio	Requerido		
Anclaje móvil	Punto	milímetros (mm)								
Anclaje N° 13	85	6,82	Base de concreto	7,12	6,2	6,2	7,12	6,71	2,01	
	86	5,98		7,05	5,81	5,81	7,05	6,28	2,01	
	87	4,52		6,52	5,81	4,52	6,52	5,62	2,01	
	88	6,44		6,43	5,74	5,74	6,44	6,2	2,01	
	89	7,12		7,58	7,14	7,06	7,06	7,58	7,23	2,01
	90	6,81		6,76	6,81	6,82	6,76	6,82	6,8	2,01
	91	6,97		7,12	7,05	6,91	6,91	7,12	7,01	2,01
	92	6,74		6,6	6,9	6,81	6,6	6,9	6,76	2,01
	93	6,74		6,76	6,28	6,75	6,28	6,76	6,63	2,01
	94	6,6		6,58	6,81	6,51	6,51	6,81	6,63	2,01
	95	6,58	6,58	6,6	6,59	6,58	6,6	6,59	2,01	
	96	6,43	6,6	6,2	6,46	6,2	6,6	6,42	2,01	
Anclaje N° 14	97	6,58	6,6	6,6	6,35	6,35	6,6	6,53	2,01	
	98	6,6	6,04	6,6	6,58	6,04	6,6	6,46	2,01	
	99	6,43	6,04	6,6	6,28	6,04	6,6	6,34	2,01	
	100	6,44	6,43	6,51	5,29	5,29	6,51	6,17	2,01	
	101	6,44	6,52	6,53	6,52	6,44	6,53	6,5	2,01	
	102	6,52	6,6	6,6	6,21	6,21	6,6	6,48	2,01	
Anclaje N° 15	103	6,6	6,04	6,58	6,57	6,04	6,6	6,45	2,01	
	104	6,28	6,6	6,59	6,43	6,28	6,6	6,48	2,01	

	105	6,43	6,28	6,53	6,51	6,28	6,53	6,44	2,01
	106	6,43	6,58	5,98	6,6	5,98	6,6	6,4	2,01
	107	6,43	6,2	6,49	6,51	6,2	6,51	6,41	2,01
Anclaje N° 16	108	7,28	7,19	7,28	7,29	7,19	7,29	7,26	2,01
	109	6,44	7,05	6,99	6,9	6,44	7,05	6,85	2,01
	110	6,74	6,82	6,81	6,81	6,74	6,82	6,8	2,01
	111	6,43	6,36	6,59	6,51	6,36	6,59	6,47	2,01
	112	6,81	6,81	6,76	6,75	6,75	6,81	6,78	2,01
	113	6,6	6,74	6,81	6,74	6,6	6,81	6,72	2,01
Anclaje N° 17	114	7,5	7,5	7,51	7,43	7,43	7,51	7,49	2,01
	115	6,6	6,6	6,6	6,75	6,6	6,75	6,64	2,01
	116	6,6	6,57	6,6	6,6	6,57	6,6	6,59	2,01
	117	6,52	6,51	6,58	6,51	6,51	6,58	6,53	2,01
	118	6,2	5,97	5,89	6,91	5,89	6,91	6,24	2,01
	119	6,58	6,43	6,6	6,6	6,43	6,6	6,55	2,01
Anclaje N° 18	120	7,59	7,43	7,43	6,29	6,29	7,59	7,19	2,01
	121	7,37	7,28	7,2	6,66	6,66	7,37	7,13	2,01
	122	7,36	7,2	7,28	7,35	7,2	7,36	7,3	2,01
	123	7,43	7,05	7,36	7,45	7,05	7,45	7,32	2,01
	124	7,19	7,2	7,28	7,28	7,19	7,28	7,24	2,01
	125	7,12	6,9	7,12	7,12	6,9	7,12	7,07	2,01
Anclaje N° 19	126	6,04	6,99	7,22	7,19	6,04	7,22	6,86	2,01
	127	7,5	7,43	7,5	7,59	7,43	7,59	7,51	2,01
	128	6,9	7,58	7,51	7,51	6,9	7,58	7,38	2,01
	129	7,5	7,37	7,58	7,59	7,37	7,59	7,51	2,01
	130	7,5	7,5	7,61	7,37	7,37	7,61	7,5	2,01
	131	7,67	7,66	7,05	7,5	7,05	7,67	7,47	2,01
Anclaje N° 20	132	7,7	7,73	6,28	7,74	6,28	7,74	7,36	2,01
	133	7,36	7,28	7,58	7,35	7,28	7,58	7,39	2,01
	134	7,5	7,45	7,19	7,58	7,19	7,58	7,43	2,01
	135	7,82	7,75	7,89	7,74	7,74	7,89	7,8	2,01
	136	7,73	7,5	7,64	7,5	7,5	7,73	7,59	2,01
	137	7,73	7,66	7,81	7,75	7,66	7,81	7,74	2,01

	138	7,75	7,75	7,68	7,73	7,68	7,75	7,73	2,01
Anclaje N° 21	139	7,74	7,81	7,67	7,81	7,67	7,81	7,76	2,01
	140	6,58	6,45	6,82	6,58	6,45	6,82	6,61	2,01
	141	6,6	6,6	6,81	6,74	6,6	6,81	6,69	2,01
	142	6,82	6,81	6,81	6,97	6,81	6,97	6,85	2,01
	143	7,2	7,28	6,28	7,19	6,28	7,28	6,99	2,01
	144	6,61	6,58	6,75	6,74	6,58	6,75	6,67	2,01
Anclaje N° 22	145	6,81	6,82	6,6	6,9	6,6	6,9	6,78	2,01
	146	6,43	6,74	6,75	6,81	6,43	6,81	6,68	2,01
	147	6,58	6,58	6,6	6,53	6,53	6,6	6,57	2,01
	148	6,52	6,43	6,28	6,51	6,28	6,52	6,44	2,01
	149	6,52	6,58	6,52	6,51	6,51	6,58	6,53	2,01
	150	6,04	6,76	6,84	6,74	6,04	6,84	6,6	2,01
Anclaje N° 23	151	6,76	6,76	6,81	6,81	6,76	6,81	6,79	2,01
	152	6,51	6,6	6,59	6,58	6,51	6,6	6,57	2,01
	153	6,74	6,98	6,9	6,81	6,74	6,98	6,86	2,01
	154	6,97	6,97	6,99	6,45	6,45	6,99	6,85	2,01
	155	6,81	6,29	5,89	6,74	5,89	6,81	6,43	2,01
	156	6,9	6,91	6,97	6,9	6,9	6,97	6,92	2,01
Anclaje N° 24	157	7,05	7,2	6,45	7,28	6,45	7,28	7,00	2,01
	158	6,81	6,9	6,59	6,83	6,59	6,9	6,78	2,01
	159	6,82	6,98	5,75	6,9	5,75	6,98	6,61	2,01
	160	7,13	7,13	7,29	7,19	7,13	7,29	7,19	2,01
	161	6,91	7,14	7,05	6,97	6,91	7,14	7,02	2,01
	162	7,12	7,14	7,19	7,12	7,12	7,19	7,14	2,01
	163	7,06	7,02	6,35	7,12	6,35	7,12	6,89	2,01
Anclaje N° 25	164	7,12	7,12	7,19	7,19	7,12	7,19	7,16	2,01
	165	6,36	6,36	6,51	6,45	6,36	6,51	6,42	2,01
	166	6,35	6,52	6,2	6,43	6,2	6,52	6,38	2,01
	167	6,74	6,97	6,6	6,81	6,6	6,97	6,78	2,01
	168	6,52	6,58	6,6	6,74	6,52	6,74	6,61	2,01
	169	6,21	6,81	5,92	6,91	5,92	6,91	6,46	2,01
	170	6,6	6,6	5,75	6,6	5,75	6,6	6,39	2,01

Anclaje N° 26	171	7,3	7,28	6,91	7,29	6,91	7,3	7,2	2,01
	172	7,13	7,28	7,05	6,83	6,83	7,28	7,07	2,01
	173	7,28	7,35	7,28	7,35	7,28	7,35	7,32	2,01
	174	7,12	7,12	7,05	7,12	7,05	7,12	7,1	2,01
	175	6,92	6,99	6,55	7,12	6,55	7,12	6,9	2,01
	176	6,91	6,81	6,9	6,97	6,81	6,97	6,9	2,01
	177	6,76	6,65	6,81	6,9	6,65	6,9	6,78	2,01
Anclaje N° 27	178	6,9	6,81	6,9	6,97	6,81	6,97	6,9	2,01
	179	7,05	7,12	7,12	7,19	7,05	7,19	7,12	2,01
	180	7,19	7,36	7,35	7,37	7,19	7,37	7,32	2,01
	181	6,9	6,89	7,05	7,13	6,89	7,13	6,99	2,01
	182	7,05	7,35	7,28	7,05	7,05	7,35	7,18	2,01
	183	6,86	6,31	6,89	6,81	6,31	6,89	6,72	2,01
	184	7,06	7,38	7,12	7,19	7,06	7,38	7,19	2,01
	185	7,09	6,76	7,12	7,19	6,76	7,19	7,04	2,01

Inspección Visual Tramo 2

Figura 20

Vista del punto de quiebre y todo el tramo 2



Figura 21

Punto de quiebre desde los puntos 85 al 88, donde se aprecia 3 anclajes fijos y tres abrazaderas de 9.10 mm



Figura 22

Segunda junta de Dilatación de 5 a 7 etapas de Orings entre los puntos 89 y 90



Figura 23

Punto 136 dañado, con una profundidad de 4 mm

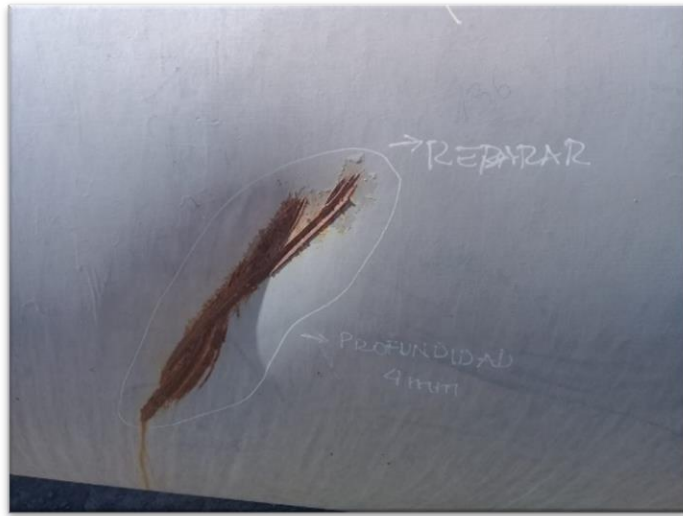


Figura 24

Punto 169 dañado



Figura 25

Punto 170 dañado con rayones de profundidad de 3 mm



Figura 26

En el punto 182 de las nuestras tomadas se encuentra instalado la segunda ventana de inspección



Figura 27

Trabajos de limpieza y retiro (Lijado) de la pintura para su respectiva medición



Figura 28

Preparado de Pintura anticorrosiva



Figura 29

Medición de espesor



4.1.4.3. Datos obtenidos en el tramo 03 – diámetro 1100mm

Tabla 10

Mediciones de espesores en el tercer tramo

REGISTROS DE ESPESORES - TERCER TRAMO									
LONGITUD	649	metros	DIAMETRO	1100	milímetros	ESPESOR	6 a 7	milímetros	
Velocidad de Ultrasonido del material :						5920 m/s			
N°	VALOR PUNTUAL POR CIRCUNFERENCIA				FUNCION			Mínimo	
	A	B	C	D	Mínimo	Máximo	Promedio	Requerido	
Anclaje móvil	Punto	milímetros (mm)							
Anclaje N°	186	6,91	Base	6,97	7,05	6,91	7,05	6,98	3,05

	187	5,83		7,04	6,98	5,83	7,04	6,62	3,05
	188	5,98		6,97	6,79	5,98	6,97	6,58	3,05
	189	6,98		7,05	7,05	6,98	7,05	7,03	3,05
	190	7,05		6,98	6,91	6,91	7,05	6,98	3,05
	191	6,82		6,82	6,21	6,21	6,82	6,62	3,05
	192	6,9		6,9	6,99	6,9	6,99	6,93	3,05
	193	7,19	7,22	7,2	7,12	7,12	7,22	7,18	3,05
	194	7,05	7,12	6,58	7,25	6,58	7,25	7,00	3,05
	195	6,99	6,9	7,2	7,41	6,9	7,41	7,13	3,05
	196	7,2	7,22	7,12	7,09	7,09	7,22	7,16	3,05
	197	7,05	7,14	7,12	7,7	7,05	7,7	7,25	3,05
	198	7,13	6,98	7,05	7,09	6,98	7,13	7,06	3,05
	199	6,9	6,97	7,05	7,4	6,9	7,4	7,08	3,05
	200	7,05	6,08	7,19	7,32	6,08	7,32	6,91	3,05
	201	6,92	6,37	7,12	7,09	6,37	7,12	6,88	3,05
	202	8,74	8,96	8,87	8,89	8,74	8,96	8,87	3,05
Anclaje N° 28	203	7,5	7,61	8,12	8,38	7,5	8,38	7,9	3,05
	204	7,82	7,52	7,52	8,28	7,52	8,28	7,79	3,05
	205	7,99	7,81	7,96	7,96	7,81	7,99	7,93	3,05
Anclaje N° 29	206	9,22	9,08	9,39	9,38	9,08	9,39	9,27	3,05
	207	7,93	8,03	7,93	7,86	7,86	8,03	7,94	3,05
	208	7,86	7,85	7,93	7,86	7,85	7,93	7,88	3,05
	209	6,72	6,86	7,57	6,95	6,72	7,57	7,03	3,05
	210	6,64	6,09	6,62	6,78	6,09	6,78	6,53	3,05
	211	6,86	5,03	6,57	6,62	5,03	6,86	6,27	3,05
	212	5,79	5,51	6,25	6,71	5,51	6,71	6,07	3,05
	213	6,03	4,87	6,72	6,86	4,87	6,86	6,12	3,05
	214	6,62	5,02	6,62	6,93	5,02	6,93	6,3	3,05
	215	6,71	6,41	6,24	6,4	6,24	6,71	6,44	3,05
Anclaje N° 30	216	7,1	6,62	6,32	6,86	6,32	7,1	6,73	3,05
	217	6,72	6,63	6,79	6,86	6,63	6,86	6,75	3,05

	218	6,33	6,14	6,62	6,55	6,14	6,62	6,41	3,05
	219	6,55	6,8	6,71	6,43	6,43	6,8	6,62	3,05
	220	6,86	6,78	6,86	6,71	6,71	6,86	6,8	3,05
	221	6,57	5,83	7,01	6,62	5,83	7,01	6,51	3,05
	222	7,00	6,93	6,93	7,1	6,93	7,1	6,99	3,05
	223	6,86	7,32	7,05	7,25	6,86	7,32	7,12	3,05
	224	7,24	6,95	7,16	7,54	6,95	7,54	7,22	3,05
	225	7,00	6,57	6,86	7,16	6,57	7,16	6,9	3,05
Anclaje N° 31	226	6,86	6,81	7,9	7,39	6,81	7,9	7,24	3,05
	227	6,55	6,64	6,62	6,55	6,55	6,64	6,59	3,05
	228	7,54	6,55	6,86	7,85	6,55	7,85	7,2	3,05
	229	6,55	6,41	6,71	6,25	6,25	6,71	6,48	3,05
	230	6,86	5,74	7,16	7,09	5,74	7,16	6,71	3,05
	231	8,15	8,01	7,62	8,15	7,62	8,15	7,98	3,05
Anclaje N° 32	232	4,86	6,79	6,09	6,62	4,86	6,79	6,09	3,05
	233	6,42	6,81	5,7	6,72	5,7	6,81	6,41	3,05
	234	6,72	6,11	6,86	6,57	6,11	6,86	6,57	3,05
	235	6,79	6,93	6,8	6,86	6,79	6,93	6,85	3,05
	236	6,86	5,79	6,95	7,01	5,79	7,01	6,65	3,05
	237	7,02	6,71	6,88	7,24	6,71	7,24	6,96	3,05
	238	6,78	6,41	6,62	7,16	6,41	7,16	6,74	3,05
	239	6,96	6,94	6,86	6,93	6,86	6,96	6,92	3,05
	240	6,8	6,44	7,92	6,88	6,44	7,92	7,01	3,05
Anclaje N° 33	241	8,24	8,08	8,08	8,23	8,08	8,24	8,16	3,05
	242	7,48	6,09	7,54	7,4	6,09	7,54	7,13	3,05
	243	7,17	6,26	7,24	7,36	6,26	7,36	7,01	3,05
	244	7,00	6,43	6,55	6,93	6,43	7,00	6,73	3,05
	245	6,87	7,1	7,01	6,89	6,87	7,1	6,97	3,05
	246	8,15	8,48	8,3	8,47	8,15	8,48	8,35	3,05
Anclaje N° 34	247	7,17	8,39	8,09	7,54	7,17	8,39	7,8	3,05
	248	6,8	6,86	7,00	7,1	6,8	7,1	6,94	3,05

249	6,79	6,86	7,00	6,41	6,41	7,00	6,77	3,05
250	6,95	6,24	6,09	6,88	6,09	6,95	6,54	3,05
251	7,77	7,54	7,62	7,62	7,54	7,77	7,64	3,05

Inspección Visual Tramo 3

Figura 30

Anclajes móviles a un ángulo de inclinación $35^{\circ} 24' 07''$, Con una articulación de juego axial en caso de movimiento o dilatación del material



Figura 31

Vaciado de concreto y punto de quiebre desde los puntos 186 al 192, donde se aprecia 3 anclajes fijos y 4 abrazaderas de 9.15 mm



Figura 32

Tercera junta de Dilatación de 5 a 7 etapas de Orings entre los puntos 228 y 229 del tercer tramo



Figura 33

Averías en el punto 249 en el lado "C"



Figura 34

Corrosión en el punto 250, cuya medida de espesor es de 5,42 mm



Figura 35

Ventana 3 en el punto 250



4.1.4.4. Datos obtenidos en el tramo 04 – diámetro 1000mm

Tabla 11

Mediciones de espesores en el Cuarto tramo

REGISTROS DE ESPESORES - CUARTO TRAMO									
LONGITUD	649	metros	DIAMETRO	1000	milímetros	ESPESOR	9	milímetros	
Velocidad de Ultrasonido del material : 5920 m/s									
N°	VALOR PUNTUAL POR CIRCUNFERENCIA				FUNCION			Mínimo	
	A	B	C	D	Mínimo	Máximo	Promedio	Requerido	
Anclaje móvil	Punto	milímetros (mm)							
Anclaje N° 35	251-1	6,94	6,87	6,41	6,99	6,41	6,99	6,8	3,92
	252	6,63	5,32	6,7	6,78	5,32	6,78	6,36	3,92
	253	6,63	6,86	6,78	6,88	6,63	6,88	6,79	3,92
	254	6,72	7,09	6,93	6,55	6,55	7,09	6,82	3,92
	255	6,86	6,86	6,62	6,98	6,62	6,98	6,83	3,92
	256	6,92	6,01	7,09	6,95	6,01	7,09	6,74	3,92
	257	6,02	4,86	6,95	6,95	4,86	6,95	6,2	3,92

Anclaje N° 36	258	7,35	7,89	7,27	8,00	7,27	8,00	7,63	3,92
	259	7,32	7,87	8,01	7,62	7,32	8,01	7,71	3,92
	260	6,87	6,56	6,39	6,24	6,24	6,87	6,52	3,92
	261	7,86	7,55	6,24	8,02	6,24	8,02	7,42	3,92
	262	7,93	8,01	6,72	7,69	6,72	8,01	7,59	3,92
	263	8,08	8,08	8,16	8,17	8,08	8,17	8,12	3,92
	264	8,1	8,07	8,54	8,31	8,07	8,54	8,26	3,92
	265	8,16	7,56	7,92	8,06	7,56	8,16	7,93	3,92
	266	8,23	8,06	8,1	8,13	8,06	8,23	8,13	3,92
Anclaje N° 37	267	8,01	7,39	8,17	8,24	7,39	8,24	7,95	3,92
	268	8,64	7,62	7,94	8,15	7,62	8,64	8,09	3,92
	269	7,09	7,24	7,4	8,17	7,09	8,17	7,48	3,92
	270	7,85	8,03	8,09	8,31	7,85	8,31	8,07	3,92
	271	8,47	7,85	8,01	7,19	7,19	8,47	7,88	3,92
	272	7,93	7,91	8,16	6,94	6,94	8,16	7,74	3,92
	273	7,85	6,87	8,09	7,8	6,87	8,09	7,65	3,92
	274	8,01	8,01	7,94	8,17	7,94	8,17	8,03	3,92
Anclaje N° 38	275	8,25	8,09	8,15	8,21	8,09	8,25	8,18	3,92
	276	9,6	9,29	8,82	9,09	8,82	9,6	9,2	3,92
	277	9,22	8,94	9,07	8,93	8,93	9,22	9,04	3,92
	278	8,38	7,93	8,21	8,23	7,93	8,38	8,19	3,92
Anclaje N° 39	279	8,31	8,24	8,23	7,57	7,57	8,31	8,09	3,92
	280	9,38	9,28	9,46	9,53	9,28	9,53	9,41	3,92
Anclaje N° 40	281	9,00	9,22	9,00	9,15	9,00	9,22	9,09	3,92
	282	9,29	9,24	9,38	8,77	8,77	9,38	9,17	3,92
Anclaje N° 41	283	9,53	9,22	9,29	9,39	9,22	9,53	9,36	3,92
	284	9,76	9,54	9,6	9,62	9,54	9,76	9,63	3,92
Nivel piso	285	8,64	9,4	9,53	8,79	8,64	9,53	9,09	3,92
	286	10,02	10,42	10,34	10,04	10,02	10,42	10,21	3,92

Inspección Visual Tramo 04

Figura 36

A diferencia de los demás puntos de quiebre de la tubería esta cuenta con un anclaje fijo reforzada y anclada con 12 pernos



Figura 37

Cuarta junta de Dilatación de 5 a 7 etapas de Orings entre los puntos 276 y 277



Figura 38

Modo de desplazamiento (forma descendente) en la zona más peligrosa y accidentada.



Figura 39

Medición de espesor de la parte baja de la tubería



4.1.4.5. Datos obtenidos en el tramo 05 – diámetro 950mm

Tabla 12

Mediciones de espesores en sótano

REGISTROS DE ESPESORES - TUBERIA DE FORZADA DEL SOTANO											
LONGITUD		- metros		DIAMETRO		950 milímetros		ESPESOR		17 milímetros	
Velocidad de Ultrasonido del material:								5920 m/s			
N°	VALOR PUNTUAL POR CIRCUNFERENCIA				FUNCION			Mínimo			
	A	B	C	D	Mínimo	Máximo	Promedio	Requerido			
Anclaje móvil	Punto	milímetros (mm)									
Tubería de entrada y salida de la Válvula Esférica	287	18,7	17,31	17,8	17,97	17,31	18,7	17,95	13,05		
	288	21,71	22,89	19,94	22,67	19,94	22,89	21,8	13,05		
	289	22,01	22,24	22,25	21,36	21,36	22,25	21,97	13,05		
	290	21,73	22,47	21,56	22,09	21,56	22,47	21,96	13,05		
	291	23,57	22,01	22,45	22,31	22,01	23,57	22,59	13,05		
	292	32,14	30,02	34,6	40,23	30,02	40,23	34,25	13,05		

Inspección Visual Tramo 05

Figura 40

Puntos marcados para la medición en la sala de máquinas – Sótano en donde se encuentra la Válvula Esférica y la By Pass



Figura 41

Mediciones a cada 60 centímetros del de la entrada y salida de la Válvula Esférica



4.2. Presentación y análisis de los resultados.

Cálculo del Mínimo espesor requerido en el 1er Tramo.

Tabla 13

Parámetros para el Primer Tramo

Parámetro	Valor	Unidad
Presión Interna, punto crítico	58,03	PSI
Radio interior	23,62	pulg
Eficiencia de la junta	90	
Esfuerzo de fluencia del material	42746	psi
Espesor mínimo de retiro {nivel alarma}	-	pulg

– El espesor mínimo por esfuerzos circunferenciales es:

$$t_{min}^c = \frac{(58,03 \text{ PSI}) * (23,62 \text{ Pulg})}{((42 \ 746 \text{ PSI}) * (0,9) - 0,6 * (58,3 \text{ PSI}))} \quad (9)$$

$$t_{min}^c = \frac{1 \ 370,6686 \text{ Pulg}}{38 \ 436,42} \quad (10)$$

$$t_{min}^c = 0,03566 \text{ pulg.} \quad (11)$$

– El espesor mínimo por esfuerzos longitudinales es:

$$t_{min}^L = \frac{(58,03 \text{ PSI}) * (23,62 \text{ Pulg})}{2((42 \ 746 \text{ PSI}) * (0,9)) + 0,4 * (58,3 \text{ PSI})} \quad (12)$$

$$t_{min}^L = \frac{1 \ 370,6686 \text{ Pulg}}{76 \ 989,44} \quad (13)$$

$$t_{min}^L = 0,01780 \text{ Pulg.} \quad (14)$$

– El espesor mínimo requerido es:

$$t_{req} = \text{Max} (0,03566 \text{ pulg}, 0,01780 \text{ Pulg}) \quad (15)$$

$$\therefore t_{req} = 0,03566 \text{ Pulg.} \quad (16)$$

$$\therefore t_{req} = (0,03566 \text{ Pulg}) * \frac{25,4 \text{ mm}}{1 \text{ Pulg}} \quad (17)$$

$$\therefore t_{req} = 0,905764 \text{ mm} \quad (18)$$

Mínimo espesor requerido en el Segundo Tramo

Tabla 14

Parámetros para el Segundo Tramo

Parámetro	Valor	Unidad
Presión Interna, punto crítico	128,50	PSI
Radio interior	23,62	pulg
Eficiencia de la junta	90	
Esfuerzo de fluencia del material	42746	psi
Espesor mínimo de retiro (nivel alarma)	-	pulg

- El espesor mínimo por esfuerzos circunferenciales es:

$$t_{min}^c = \frac{(128,50 \text{ PSI}) * (23,62 \text{ Pulg})}{((42 \ 746 \text{ PSI}) * (0,9) - 0,6 * (128,50 \text{ PSI}))} \quad (19)$$

$$t_{min}^c = \frac{3 \ 035,17 \text{ Pulg}}{38 \ 394,3} \quad (20)$$

$$t_{min}^c = 0,07905 \text{ pulg.} \quad (21)$$

- El espesor mínimo por esfuerzos longitudinales es:

$$t_{min}^L = \frac{(128,50 \text{ PSI}) * (23,62 \text{ Pulg})}{2((42 \ 746 \text{ PSI}) * (0,9)) + 0,4 * (128,50 \text{ PSI})} \quad (22)$$

$$t_{min}^L = \frac{3 \ 035,17 \text{ Pulg}}{76 \ 994,2} \quad (23)$$

$$t_{min}^L = 0,03942 \text{ Pulg.} \quad (24)$$

– El espesor mínimo requerido es:

$$t_{req} = \text{Max} (0,07905 \text{ pulg}, 0,03942 \text{ Pulg}) \quad (25)$$

$$\therefore t_{req} = 0,07905 \text{ Pulg}. \quad (26)$$

$$\therefore t_{req} = (0,07905 \text{ Pulg}) * \frac{25,4 \text{ mm}}{1 \text{ Pulg}} \quad (27)$$

$$\therefore t_{req} = 2,00787 \text{ mm} \quad (28)$$

Mínimo espesor requerido en el 3er Tramo.

Tabla 15

Parámetros para el Tercer Tramo

Parámetro	Valor	Unidad
Presión Interna, punto crítico	212,50	PSI
Radio interior	21,65	pulg
Eficiencia de la junta	90	
Esfuerzo de fluencia del material	42746	psi
Espesor mínimo de retiro {nivel alarma}	-	pulg

– El espesor mínimo por esfuerzos circunferenciales es:

$$t_{min}^c = \frac{(212,50 \text{ PSI}) * (21,65 \text{ Pulg})}{((42 \ 746 \text{ PSI}) * (0,9) - 0,6 * (212,50 \text{ PSI}))} \quad (29)$$

$$t_{min}^c = \frac{4 \ 600,625 \text{ Pulg}}{38 \ 343,9} \quad (30)$$

$$t_{min}^c = 0,11998 \text{ pulg}. \quad (31)$$

- El espesor mínimo por esfuerzos longitudinales es:

$$t_{min}^L = \frac{(212,50 \text{ PSI}) * (21,65 \text{ Pulg})}{2((42\ 746 \text{ PSI}) * (0,9)) + 0,4 * (212,5 \text{ PSI})} \quad (32)$$

$$t_{min}^L = \frac{4\ 600,625 \text{ Pulg}}{77\ 027,8} \quad (33)$$

$$t_{min}^L = 0,059726 \text{ Pulg}. \quad (34)$$

- El espesor mínimo requerido es:

$$t_{req} = \text{Max} (0,11998 \text{ pulg}, 0,059726 \text{ Pulg}) \quad (35)$$

$$\therefore t_{req} = 0,1198 \text{ Pulg}. \quad (36)$$

$$\therefore t_{req} = (0,11998 \text{ Pulg}) * \frac{25,4 \text{ mm}}{1 \text{ Pulg}} \quad (37)$$

$$\therefore t_{req} = 3,047492 \text{ mm} \quad (38)$$

Mínimo espesor requerido en el 4er Tramo.

Tabla 16

Parámetros para el Cuarto Tramo

Parámetro	Valor	Unidad
Presión Interna, punto crítico	300,00	PSI
Radio interior	19,69	pulg
Eficiencia de la junta	90	
Esfuerzo de fluencia del material	42746	psi
Espesor mínimo de retiro {nivel alarma}	-	pulg

– El espesor mínimo por esfuerzos circunferenciales es:

$$t_{min}^c = \frac{(300,00 \text{ PSI}) * (19,69 \text{ Pulg})}{((42 \ 746 \text{ PSI}) * (0,9) - 0,6 * (300,00 \text{ PSI}))} \quad (39)$$

$$t_{min}^c = \frac{5 \ 907 \text{ Pulg}}{38 \ 291,4} \quad (40)$$

$$t_{min}^c = 0,154264 \text{ pulg.} \quad (41)$$

– El espesor mínimo por esfuerzos longitudinales es:

$$t_{min}^L = \frac{(300,00 \text{ PSI}) * (19,69 \text{ Pulg})}{2((42 \ 746 \text{ PSI}) * (0,9) + 0,4 * (300,00 \text{ PSI}))} \quad (42)$$

$$t_{min}^L = \frac{5 \ 907 \text{ Pulg}}{77 \ 062,8} \quad (43)$$

$$t_{min}^L = 0,076651 \text{ Pulg.} \quad (44)$$

– El espesor mínimo requerido es:

$$t_{req} = \text{Max} (0,154264 \text{ pulg}, 0,076651 \text{ Pulg}) \quad (45)$$

$$\therefore t_{req} = 0,154264 \text{ Pulg.} \quad (46)$$

$$\therefore t_{req} = (0,154264 \text{ulg}) * \frac{25,4 \text{ mm}}{1 \text{ Pulg}} \quad (47)$$

$$\therefore t_{req} = 3,9183056 \text{ mm} \quad (48)$$

Mínimo espesor requerido en el Sótano

Tabla 17

Parámetros para el Sótano

Parámetro	Valor	Unidad
Presión Interna, punto crítico	1280,00	PSI
Radio interior	18,70	pulg
Eficiencia de la junta	90	
Esfuerzo de fluencia del material	52626	psi
Espesor mínimo de retiro {nivel alarma}	-	pulg

- *El espesor mínimo por esfuerzos circunferenciales es:*

$$t_{min}^c = \frac{(1\ 280,00\ PSI) \cdot (18,70\ Pulg)}{((52\ 626\ PSI) \cdot (0,9) - 0,6 \cdot (1\ 280,00\ PSI))} \quad (49)$$

$$t_{min}^c = \frac{23\ 936\ Pulg}{46\ 595,4} \quad (50)$$

$$t_{min}^c = 0,513699\ pulg. \quad (51)$$

- *El espesor mínimo por esfuerzos longitudinales es:*

$$t_{min}^L = \frac{(1280,00\ PSI) \cdot (18,70\ Pulg)}{2((52\ 626\ PSI) \cdot (0,9)) + 0,4 \cdot (1\ 280,00\ PSI)} \quad (52)$$

$$t_{min}^L = \frac{23\ 936\ Pulg}{95\ 238,8} \quad (53)$$

$$t_{min}^L = 0,251326\ Pulg. \quad (54)$$

– El espesor mínimo requerido es:

$$t_{req} = \text{Max} (0,513699 \text{ pulg}, 0,251326 \text{ Pulg}) \quad (55)$$

$$\therefore t_{req} = 0,513699 \text{ Pulg.} \quad (56)$$

$$\therefore t_{req} = (0,513699 \text{ Pulg}) \cdot \frac{25,4 \text{ mm}}{1 \text{ Pulg}} \quad (57)$$

$$\therefore t_{req} = 13,04795 \text{ mm} \quad (58)$$

4.2.2 Análisis de desgaste

Figura 42

Análisis de espesores del Punto "A" de circunferencia Primer Tramo

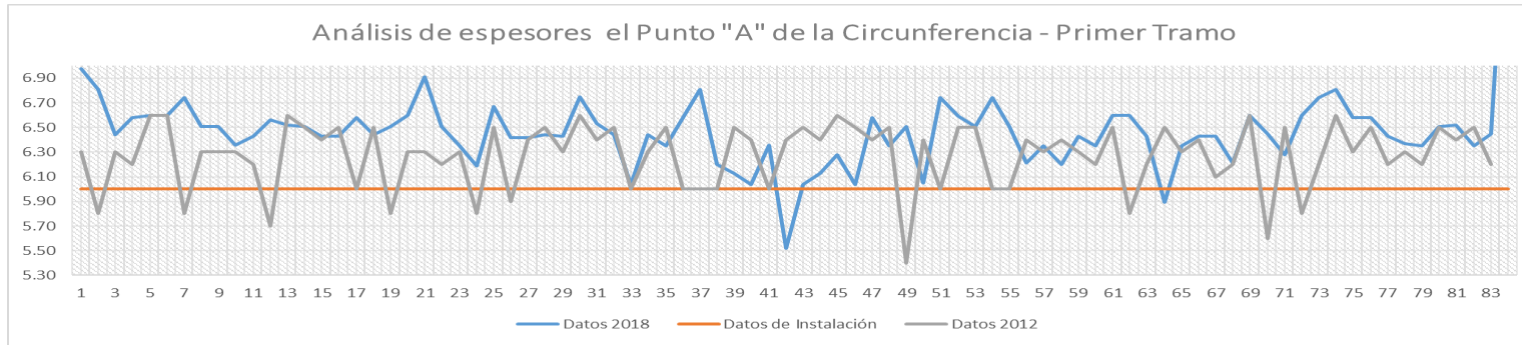


Figura 43

Análisis de espesores del Punto "B" de circunferencia Primer Tramo

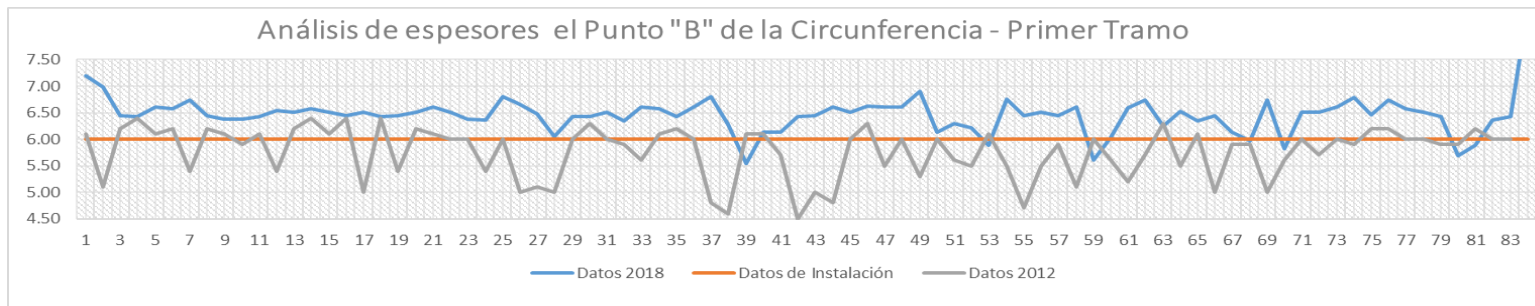


Figura 44

Análisis de espesores del Punto "C" de circunferencia Primer Tramo

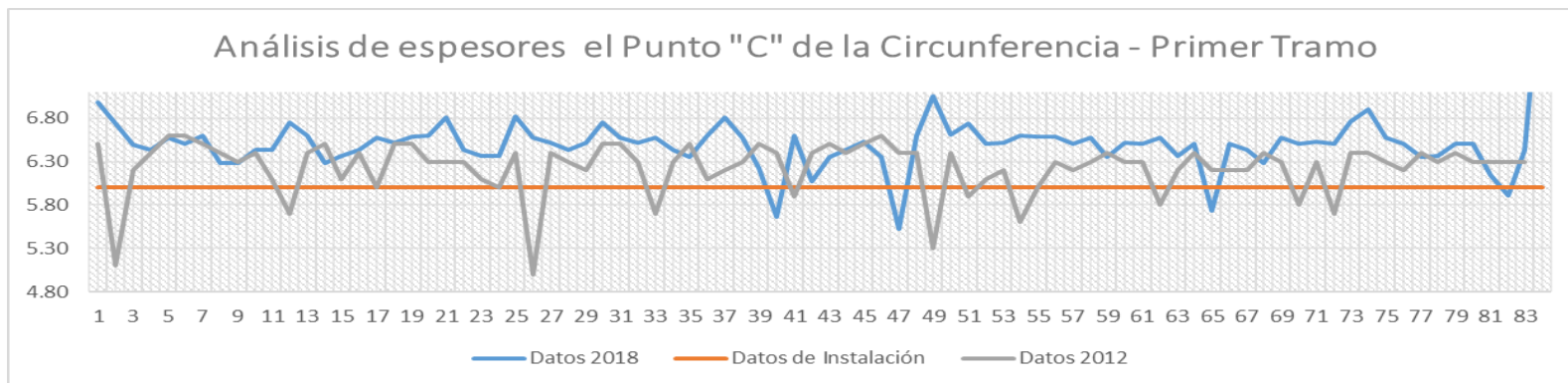
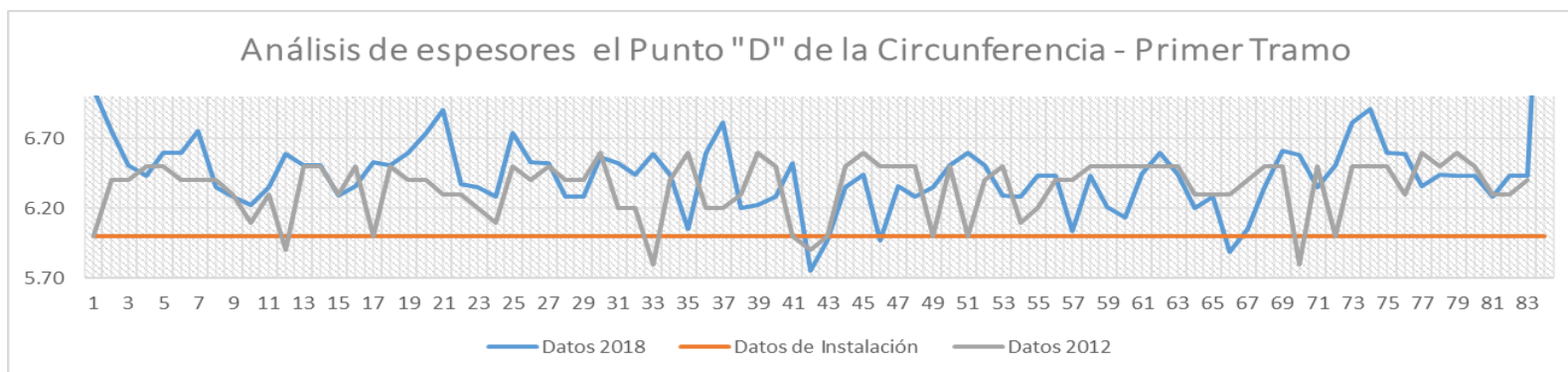


Figura 45

Análisis de espesores del Punto "D" de circunferencia Primer Tramo



De acuerdo a los datos recopilados de la empresa ESCCEM y los datos tomados en campo en el año 2018 tomaremos 10 puntos críticos.

Ejemplo de operación para el cálculo del porcentaje de desgaste en el punto más crítico del primer tramo – Punto 42 - A.

$$6,00 \text{ mm} \rightarrow 100\%$$

$$5,52 \text{ mm} \rightarrow x$$

$$X = \frac{100\% * 5,52 \text{ mm}}{6} = 92\%$$

∴ Concluimos que en punto 42 - A tuvo un desgaste 8% desde su instalación.

Tabla 18

Desgastes críticos en el primer Tramo

ITEM	Punto Crítico	Año 2012 (mm)	Año 2018 (mm)	Diseño (mm)	% Estado actual	Desgaste (%)
1	42 - A	6,4	5,52	6	92,00	8,00
2	47 - C	6,4	5,52	6	92,00	8,00
3	39 - A	6,1	5,55	6	92,5	7,5
4	59 - B	6	5,6	6	93,33	6,67
5	40 - C	6,4	5,66	6	94,33	5,67
6	80 - B	5,9	5,69	6	94,83	5,17
7	65 - C	6,2	5,74	6	95,67	4,33
8	42 - D	5,9	5,75	6	95,83	4,17
9	70 - B	5,6	5,82	6	97,00	3,00
10	81 - B	6,2	5,89	6	98,17	1,83

Figura 46

Análisis de espesores del Punto "A" de circunferencia Segundo Tramo

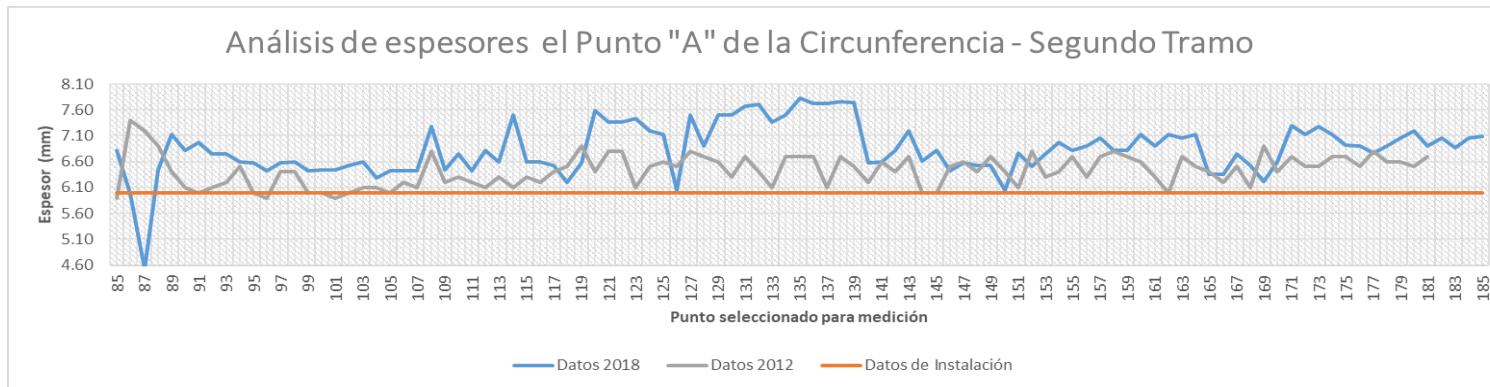


Figura 47

Análisis de espesores del Punto "B" de circunferencia Segundo Tramo

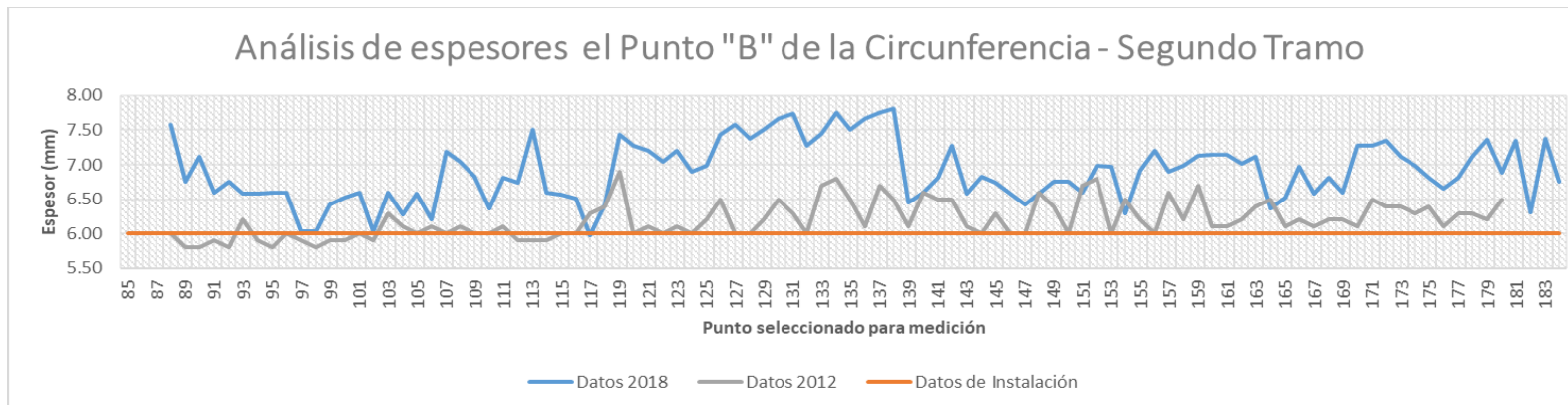


Figura 48

Análisis de espesores del Punto "C" de circunferencia Segundo Tramo

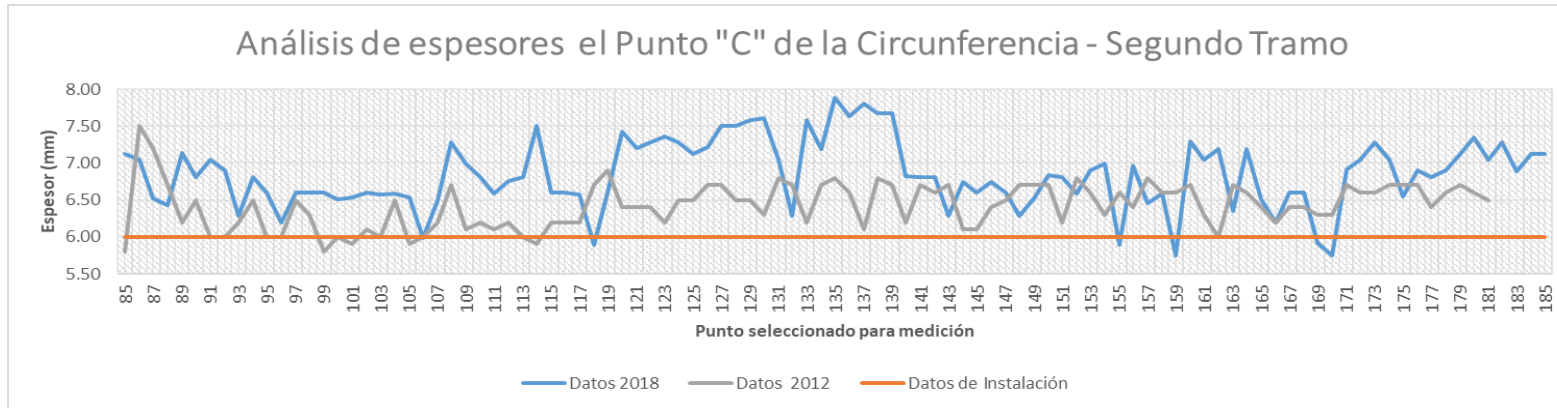
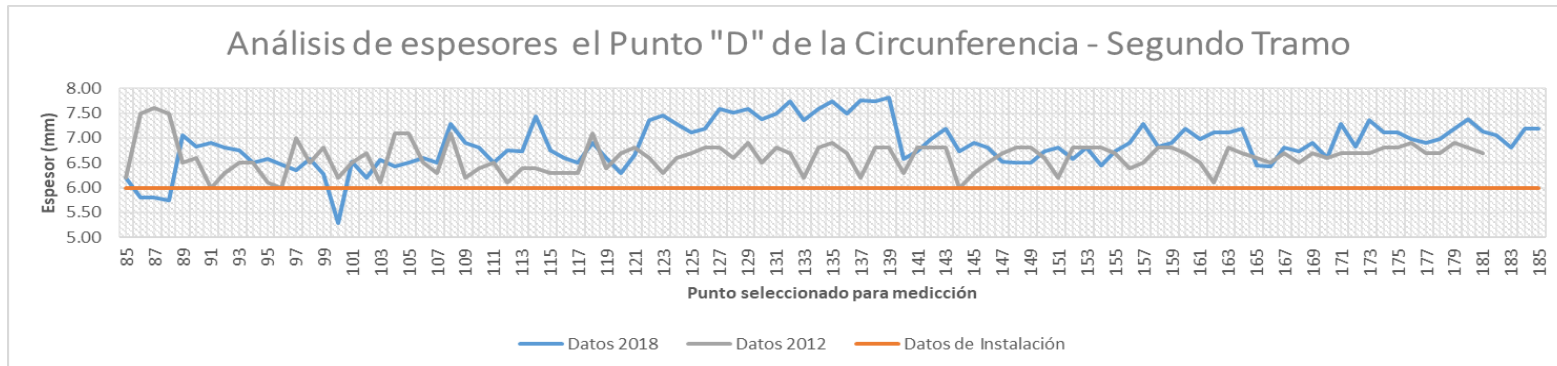


Figura 49

Análisis de espesores del Punto "D" de circunferencia Segundo Tramo



Cálculo del porcentaje de desgaste en el punto más crítico del
 Segundo tramo – Punto 88 - A.

$$6,00 \text{ mm} \rightarrow 100\%$$

$$4,52 \text{ mm} \rightarrow x$$

$$X = \frac{100\% * 4,52 \text{ mm}}{6} = 75,3\%$$

∴ Concluimos que en punto 88 - A tuvo un desgaste 24,67 % desde su
 instalación.

Tabla 19

Desgastes Críticos en el segundo Tramo

ITEM	Punto Crítico	Año 2012 (mm)	Año 2018 (mm)	Diseño (mm)	% Estado actual	Desgaste (%)
1	88 - A	6,9	4,52	6	75,33	24,67
2	100 - D	6,2	5,29	6	88,17	11,83
3	88 - D	7,5	5,74	6	95,67	4,33
4	170 - C	6,3	5,6	6	93,33	6,67
5	159 - C	6,6	5,66	6	94,33	5,67
6	86 - D	7,5	5,81	6	96,83	3,17
7	87 - D	7,6	5,81	6	96,83	3,17
8	155 - C	6,6	5,89	6	98,17	1,83
9	169 - C	6,3	5,92	6	98,67	1,33
10	86 - A	7,4	5,98	6	99,67	0,33

Figura 50

Análisis de espesores del Punto "A" de circunferencia Tercer Tramo

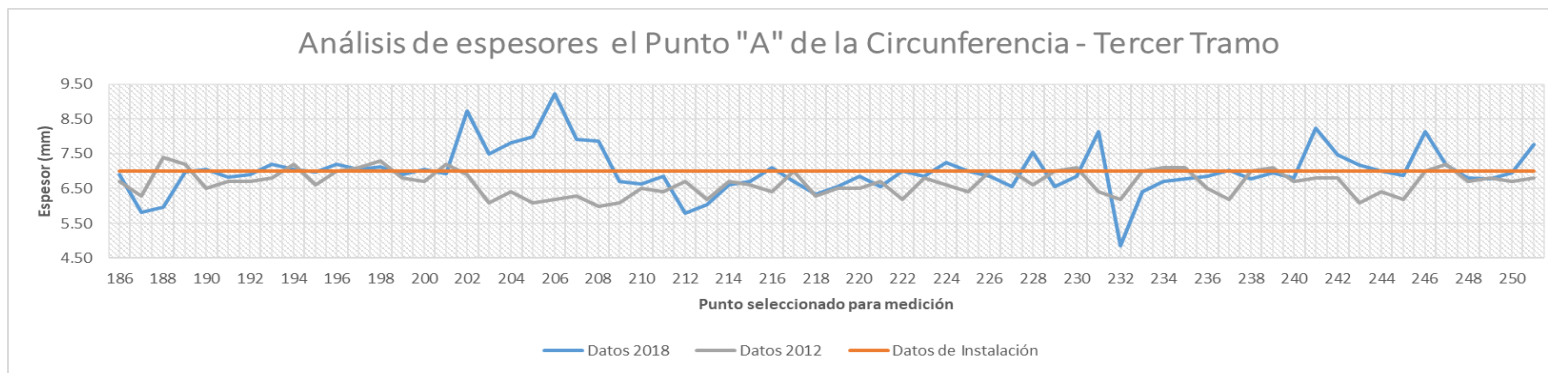


Figura 51

Análisis de espesores del Punto "B" de circunferencia Tercer Tramo

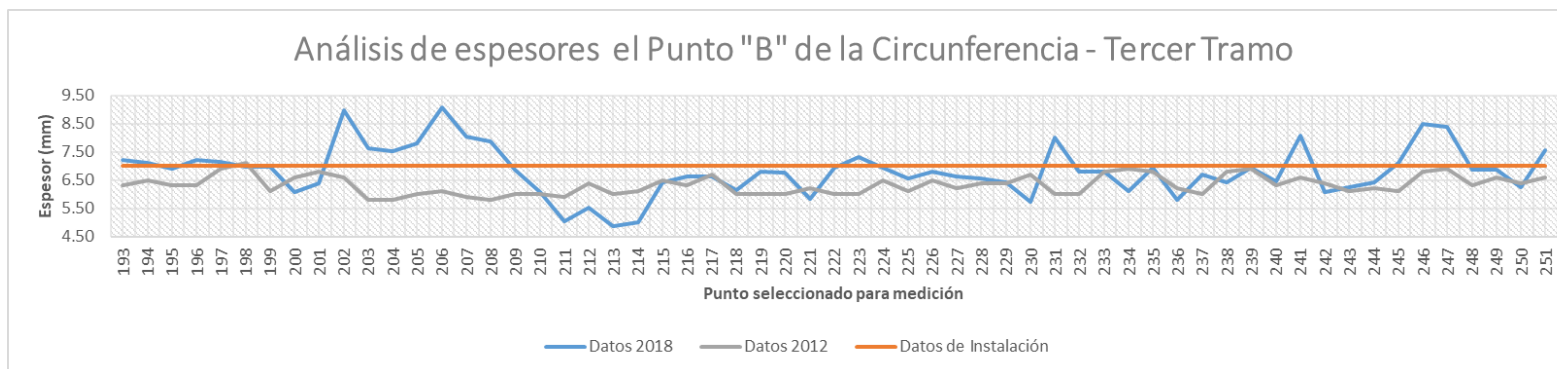


Figura 52

Análisis de espesores del Punto "C" de circunferencia Tercer Tramo

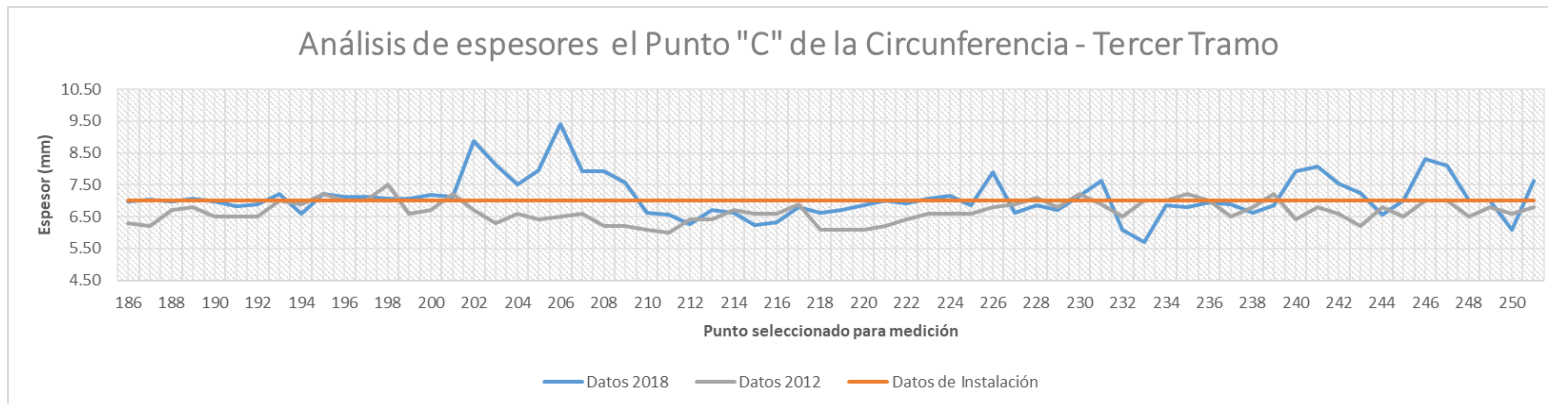
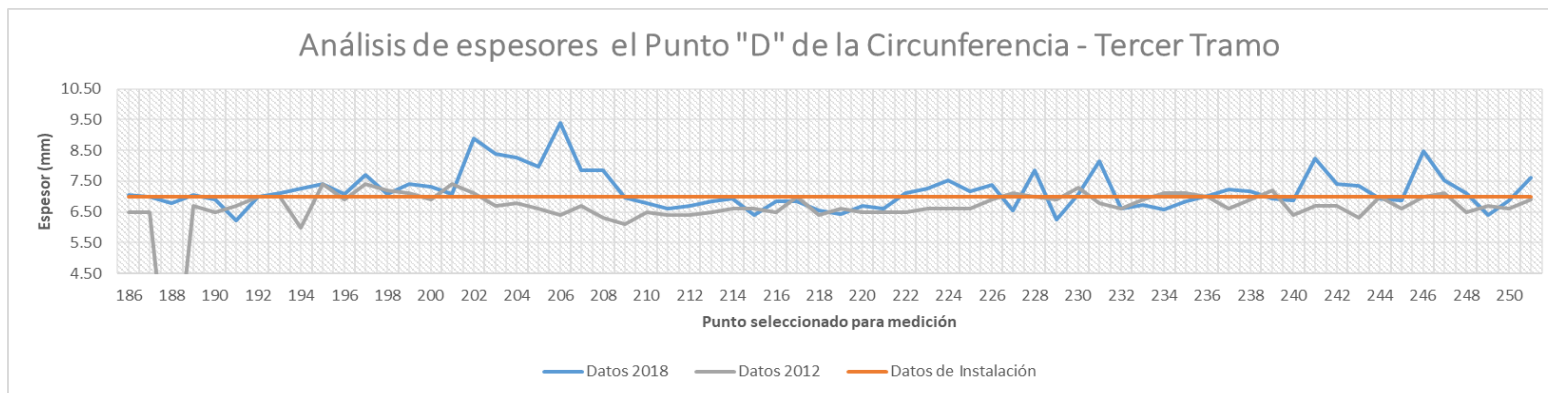


Figura 53

Análisis de espesores del Punto "D" de circunferencia Tercer Tramo



Cálculo del porcentaje de desgaste en el punto más crítico del tercer tramo – Punto 232- A.

$$7,00 \text{ mm} \rightarrow 100\%$$

$$4,86 \text{ mm} \rightarrow x$$

$$X = \frac{100\% * 4,86 \text{ mm}}{7} = 69,4\%$$

∴ Concluimos que en punto 232 - A tuvo un desgaste 30,57 % desde su instalación.

Tabla 20

Desgastes críticos en el Tercer Tramo

ITEM	Punto Crítico	Año 2012 (mm)	Año 2018 (mm)	Diseño (mm)	% Estado actual	Desgaste (%)
1	232 - A	6,2	4,86	7	69,43	30,57
2	213 - B	6	4,87	7	69,57	30,43
3	214 - B	6,1	5,02	7	71,71	28,29
4	211 - B	5,9	5,03	7	71,86	28,14
5	212 - B	6,4	5,51	7	78,71	21,29
6	233 - C	7	5,7	7	81,43	18,57
7	230 - B	6,7	5,74	7	82,00	18,00
8	236 - B	6,2	5,79	7	82,71	17,29
9	212- A	6,7	5,79	7	82,71	17,29
10	187 - A	6,3	5,83	7	83,29	16,71

Figura 54

Análisis de espesores del Punto "A" de circunferencia Cuarto Tramo

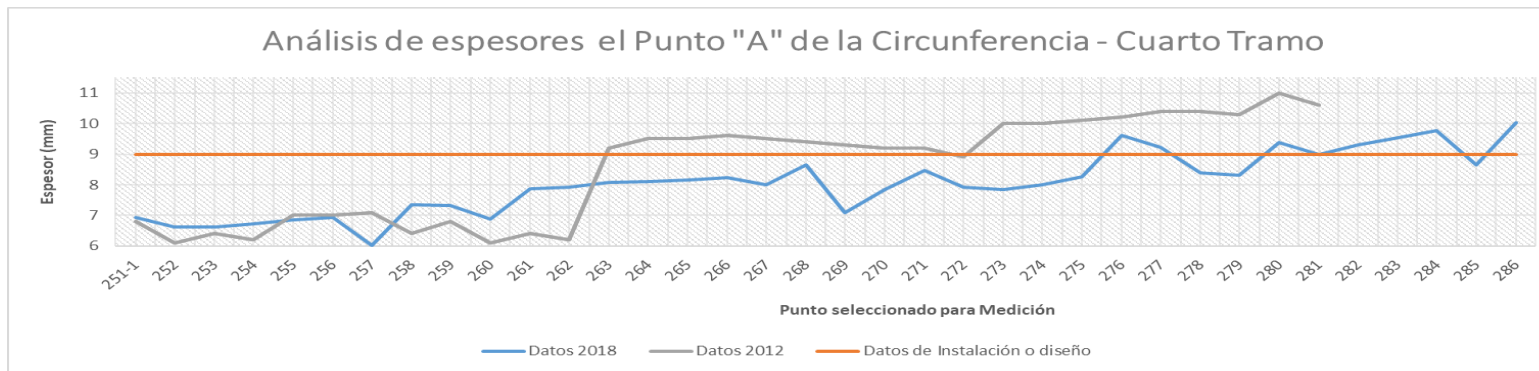


Figura 55

Análisis de espesores del Punto "B" de circunferencia Cuarto Tramo

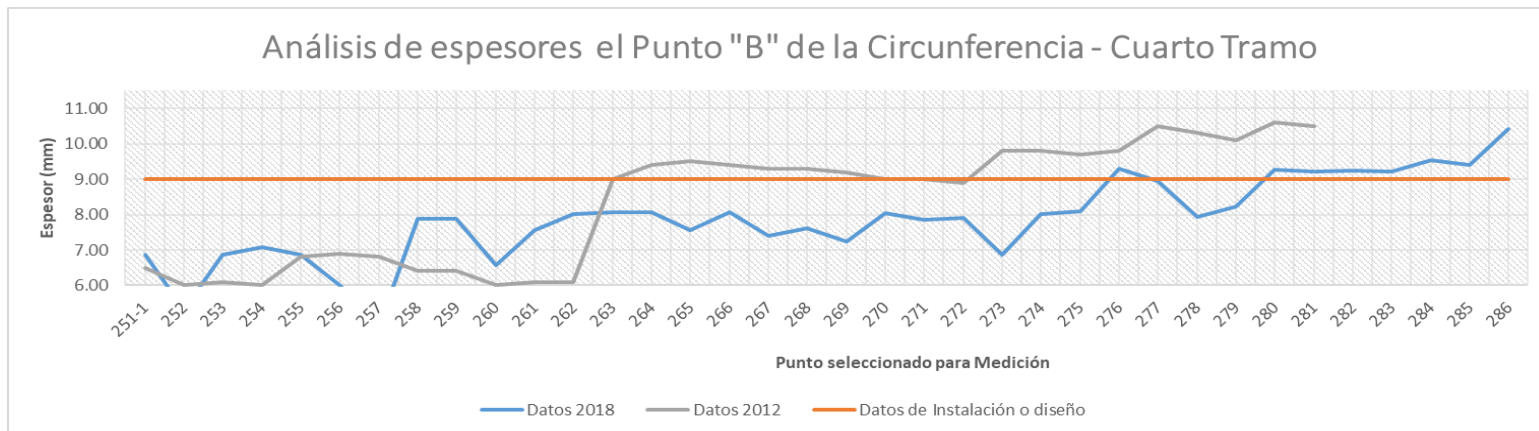


Figura 56

Análisis de espesores del Punto "C" de circunferencia Cuarto Tramo

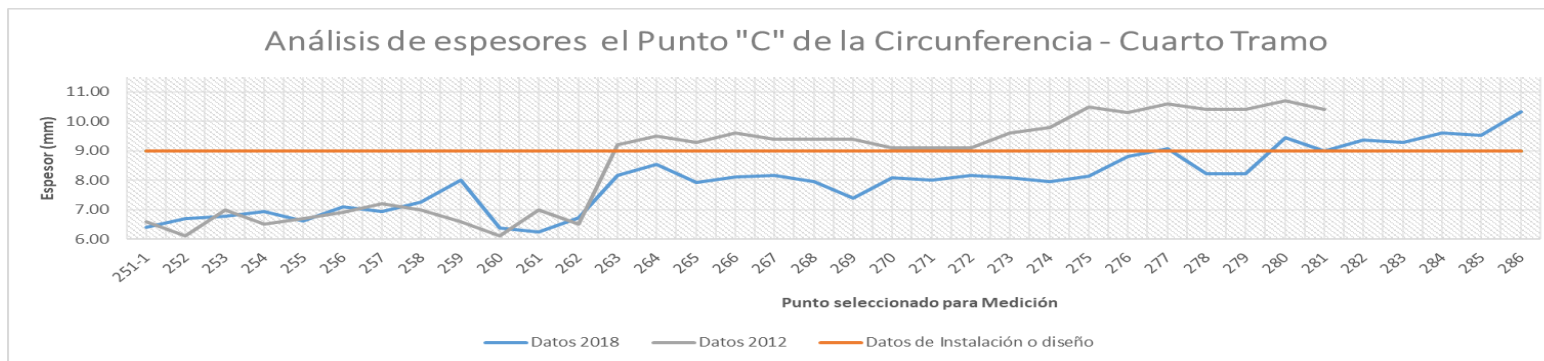
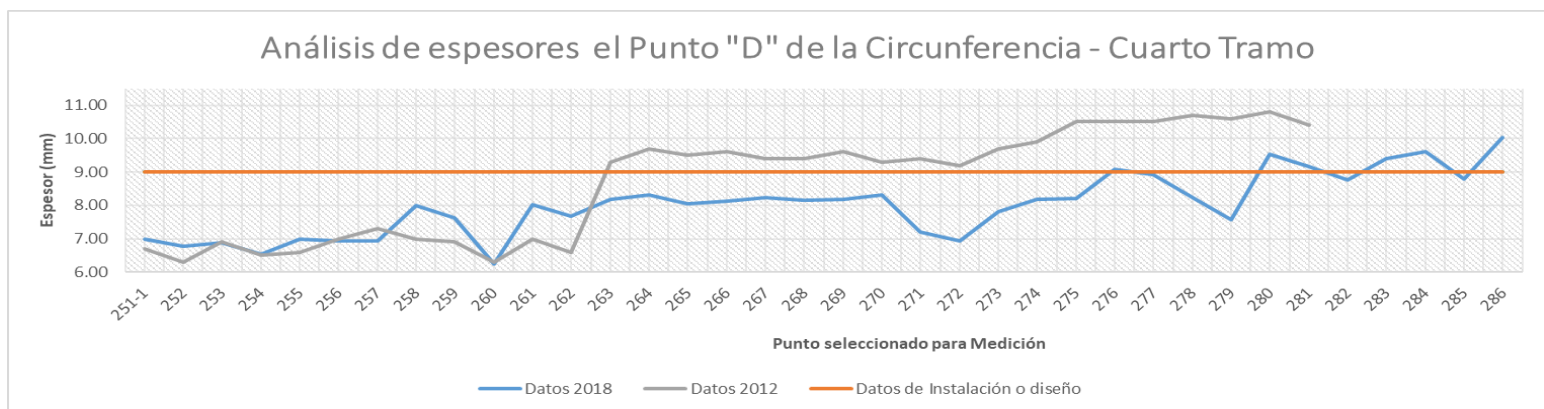


Figura 57

Análisis de espesores del Punto "D" de circunferencia Cuarto Tramo



Cálculo del porcentaje de desgaste en el punto más crítico del Cuarto tramo – Punto 257- B.

$$9,00 \text{ mm} \rightarrow 100\%$$

$$4,86 \text{ mm} \rightarrow x$$

$$X = \frac{100\% * 4,86 \text{ mm}}{9} = 54\%$$

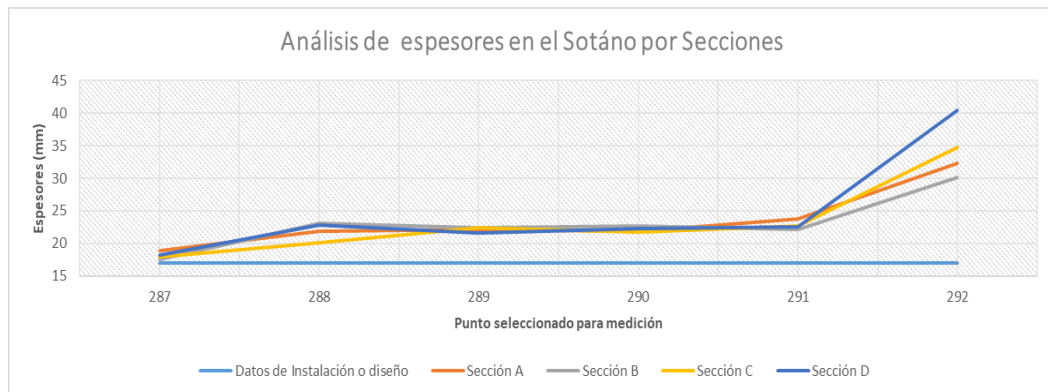
∴ Concluimos que en punto 257 – B tuvo un desgaste 46 % desde su instalación.

Tabla 21

Desgastes Críticos en el Cuarto Tramo

ITEM	Punto Crítico	Año 2012 (mm)	Año 2018 (mm)	Diseño (mm)	% Estado actual	Desgaste (%)
1	257 - B	6,8	4,86	9	54,0	46,00
2	2.52 - B	6	5,32	9	59,11	40,89
3	256 - B	6,9	6,01	9	66,78	33,22
4	257 - A	7,1	6,02	9	66,89	33,11
5	260 - D	6,3	6,24	9	69,33	30,67
6	261- C	7	6,24	9	69,33	30,67
7	260- C	6,1	6,39	9	71,0	29,00
8	251(1) - C	6,6	6,41	9	71,22	28,78
9	254 - D	6,5	6,55	9	72,78	27,22
10	260- B	6	6,56	9	72,89	27,11

Figura 58
Análisis de espesores en el sótano



Evaluación social para reducir la contaminación

A decir verdad, el análisis de desgaste mediante la medición de espesores por ultrasonido no tiene mucho impacto en el aspecto ambiental. Pero, si es importante recalcar que este tipo de ensayo implica el retiro de capas de recubrimiento de la tubería forzada que propiamente se realiza con una lija fina que para ello se debe usar paños absorbentes de polvo o películas de pintura.

Así mismo, después de dicho procedimiento se tiene que recubrir lo retirado con pintura epóxica que es un poco contaminante para el suelo, es por ello que se debe de colocar una base al suelo para no tener un contacto directo con el suelo y retirar todas las herramientas en desuso aun tacho determinado

Análisis económico

El estado económico para este análisis de desgaste de la tubería forzada de la central Hidroeléctrica Aricota 2 es necesario tener en cuenta lo siguiente.

Tabla 22

Resumen de costos de mano de obra y materiales

EQUIPOS Y HERRAMIENTAS			
Rubros	Cantidad	Descripción	Costo (s/.)
Equipo Ultrasónico HUATEC	1 und	Para medición de espesores	2200,00
Gel ultrasónico	1 gal	Utilizado para el palpador de contacto	85,00
Pintura epóxico	1 gal	Para recubrir los puntos medidos	250,00
Brocha de 2"	4 und	empleado para pintar los puntos medidos	36,00
Lija 300	20 und	Para retirar la capa de pintura y hacer efectiva la medición	70,00
Escalera	1 und	utilizado para llegar a los puntos más altos de la tubería	420,00
Soga o cuerda	25 mt	Empleado para descender en la parte baja de la tubería forzada	560,00
Tablilla de apuntes	2 und	Para tomar apuntes	30,00
Total S/.			3 651,00

PERSONAL REQUERIDO				
Personal en campo	Días trabajados	Descripción	Costo por día	Costo Total

Investigador o encargado	18 días	Calibrador y evaluador de las medidas tomadas - Supervisor	180,00	3 240,00
Asistente	15 días	Personal de apoyo para la toma de medidas	120,00	1 800,00
Prevencionista	15 días	Encargado por velar la integridad del personal en campo	120,00	1 800,00
Técnico de mantenimiento	15 días	Encargado de retiras las capas de pintura y lijar para después pintar	120,00	1 800,00
Ayudante	15 días	Soporte del técnico	90,00	1 350,00
			Total S/.	9 990,00

Sub Total	S/.	11 185,62
IGV 18%	S/.	2 455,38
TOTAL	S/.	13 641,00

4.3. Contrastación de hipótesis

A continuación, se presenta la contratación de hipótesis para la Tesis titulada “Análisis de desgaste en la tubería forzada mediante la medición de espesores en la central hidroeléctrica Aricota 2 - Empresa Egesur S.A., en el año 2018”, el cual se compara los desgastes de las tuberías en del año 2012 y del 2018 en los tramos 3 y 4, para el muestreo no estadístico por conveniencia puesto que las medidas realizada en el año 2012 dan una expectativa de un desgaste negativo lo cual es absurdo por que la influencia de la corrosión o pequeñas incrustaciones hace aumentar el espesor por lo

que no se considera los tramos 1 y 2 para el análisis estadístico. Por lo que se tiene 10 datos más críticos de los tramos 3 y 4.

Ho: No hay diferencia significativa en el desgaste medio entre los años 2012 y 2018.

H1: Existe una diferencia significativa en el desgaste medio entre los años 2012 y 2018.

Se realiza la prueba de hipótesis con el análisis estadístico t- Student con los siguientes datos.

Tabla 23

Análisis de desgaste por año

	ITEM	Punto Crítico	2012, Desgaste (%)	2018, Desgaste (%)
	1	232 - A	11,43	30,57
	2	213 - B	14,29	30,43
	3	214 - B	12,86	28,29
	4	211 - B	15,71	28,14
3er tramo	5	212 - B	8,57	21,29
	6	233 - C	0,00	18,57
	7	230 - B	4,29	18
	8	236 - B	11,43	17,29
	9	212- A	4,29	17,29
	10	187 - A	10,00	16,71
	11	257 - B	24,44	46
4to tramo	12	2.52 - B	33,33	40,89
	13	256 - B	23,33	33,22

14	257 - A	21,11	33,11
15	260 - D	30,00	30,67
16	261- C	22,22	30,67
17	260- C	32,22	29
18	251(1) - C	26,67	28,78
19	254 - D	27,78	27,22
20	260- B	33,33	27,11

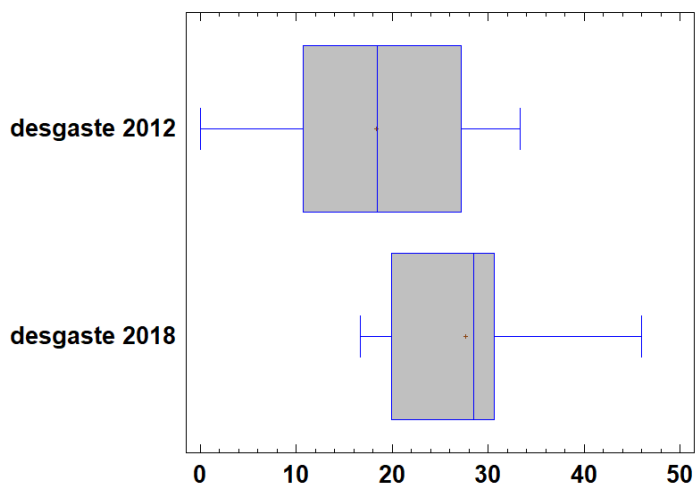
Tabla 24

Resumen estadístico

	Desgaste 2012	Desgaste 2018
Conteo	20	20
Promedio	18,365	27,6625
Desviación Estándar	10,4286	7,82014
Coefficiente de variación	56,79%	28,27%
Mínimo	0	16,71
Máximo	33,33	46
Rango	33,33	29,29
Estándar oblicuidad	-0,136176	0,772373
Estándar curtosis	-1,09789	0,305654

A continuación, se analiza los promedios mediante la caja y bigotes

Figura 59
Promedios mediante la caja y bigotes



En la figura anterior se muestra los promedios, lo cual, indica que el desgaste del 2012 fue menor al del 2018 de los puntos analizados.

La comparación de medias, tiene un intervalo de confianza del 95,0% para la media de desgaste 2012: 18,365

El intervalo de confianza del 95,0% para la media de desgaste 2018: 27,6625.

Intervalo de confianza del 95,0% para la diferencia entre las medias suponiendo varianzas iguales: -9,2975

Para la prueba t de Student al comparar medias obtenemos

El valor de $P = 0,00285119$

Por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta hipótesis alternativa para un alfa de 0,05

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1. Pruebas de validación del modelo experimental

Se realizó las respectivas mediciones en distintos puntos, así como se planteó en la primera parte previamente cumpliendo los requisitos necesarios como lo es el certificado de calibración vigente. En donde se procesó la data facilitada a por la empresa Egesur S.A. donde se analizó la relación significativa entre el desgaste de la tubería forzada y el tiempo de uso en la Central Hidroeléctrica Aricota 2.

Figura 59

Promedios mediante la caja y bigotes



Si como se muestra en la imagen anterior se toma mediciones en cuatro puntos circunferenciales de la tubería y luego se tomó apuntes para que después sea procesado par su cálculo de mínimo requerido y el análisis de desgaste por tramos.

5.2. Aplicación de la tecnología encontrada

La aplicación del equipo de ultrasonido forma parte de la tecnología encontrada siendo el medidor de espesor ultrasónico digital la que determina el espesor de la pieza o estructura al medir con precisión el tiempo requerido para que un impulso ultrasónico corto generado por un transductor viaje a través del espesor del material, refleje desde la parte posterior o superficie interna, y sea devuelto al transductor.

5.3. Contraste con trabajos de investigación similares

En referencia a Torre (2018) que bajo la evaluación del conducto forzado de la central Hidráulica C.H. Huanca de Seal, el cual, determino el diámetro de la tubería dando como resultado el valor de 37,9cm, actualmente la tubería tiene 37cm, es por ello que es un valor aceptable; también se midió el espesor de la tubería dando como resultado un mínimo de 2,195mm para evitar un golpe de ariete, para la tesis realizada se tiene

se obtuvo un espesor mínimo requerido de 3.92mm, para el cuarto tramo y para el tercer tramo es de 3,047492 mm el cual está por encima y representa un mayor factor de seguridad.

Con respecto a Pilco Pilco & Toapanta Cajamarca (2014), de su trabajo publicada análisis, evaluación y prevención de fallas potenciales mediante medición de espesores por ultrasonido en base a las normas ASTM E-797 y API 570 en la presente tesis se empleó el ASME B31G que a diferencia del otro trabajo que se dedicó únicamente en la medición de espesores la norma que se utilizó permite medir también la corrosión para la determinación de reparación o remplazo dando acción que permita su mantenimiento basado en la información presentada centrándonos en la evaluación de la integridad estructural de los equipos existentes .

CONCLUSIONES

1. Se analizó del desgaste en la tubería forzada mediante la medición de espesores en la Central Hidroeléctrica Aricota 2. Los resultados obtenidos mostraron que, en el año 2018, el desgaste máximo en el tramo 3 fue del 30,57% y en el tramo 4 fue del 46%. En comparación, en el año 2012, el desgaste máximo en el tramo 3 fue del 15,71% y en el tramo 4 fue del 33,33%. Para contrastar la hipótesis planteada, se realizó la prueba t-Student, obteniendo un P-valor de 0,00285119. En base a este resultado, se aceptó la hipótesis alternativa, lo que indica que existe un incremento significativo en el desgaste de la tubería forzada en el año 2018 en comparación con el año 2012. Estos hallazgos resaltan la importancia de llevar a cabo un monitoreo periódico del desgaste en la tubería forzada, así como la necesidad de implementar medidas de mantenimiento y reparación adecuadas para garantizar la continuidad operacional y la eficiencia de la producción eléctrica e hidráulica en la Central Hidroeléctrica Aricota 2.
2. Se analizó el desgaste en la tubería forzada mediante el uso del ultrasonido el cual fue mediante ensayos no destructivos que nos permitió medir el material estudiado en operación sin necesidad de

hacer una parada para retirar una muestra, el equipo de ultrasonido es de marca Huatec modelo TG3000 de origen Beijing certificada por ISO, GOTS y calibrada por INACAL. El equipo permitió obtener el espesor mediante la velocidad del ultrasonido programado para el material.

3. Se analizó el desgaste en la tubería forzada utilizando el método de ultrasonido. Los ensayos no destructivos con el equipo de ultrasonido Huatec modelo TG3000 de origen Beijing, certificado por ISO, GOTS y calibrado por INACAL, permitieron medir el espesor del material en operación sin necesidad de detener el proceso para extraer una muestra. El uso del ultrasonido demostró ser una técnica efectiva y precisa para obtener mediciones de espesor en la tubería forzada. La velocidad del ultrasonido programada para el material permitió calcular el espesor de manera confiable y obtener información sobre el desgaste. Esto facilita el monitoreo continuo y periódico del desgaste en la tubería forzada, lo que a su vez permite tomar decisiones informadas sobre el mantenimiento y reparación de la infraestructura

4. Se analizó el desgaste en la tubería forzada mediante utilizando el método del mínimo requerido de espesor. Este enfoque nos permitió determinar si el espesor medido con el equipo se encontraba dentro del rango permitido, de acuerdo con el cálculo aplicado utilizando los

códigos ASME B31G y las normas API 579. La utilización de este método demostró ser efectiva para evaluar el desgaste en la tubería forzada y determinar si el espesor actual cumplía con los estándares de seguridad y rendimiento establecidos por los códigos mencionados. Esto es crucial para garantizar la integridad estructural de la tubería y la seguridad de la operación en la Central Hidroeléctrica Aricota 2. La aplicación de los códigos ASME B31G y las normas API 579 proporcionó un marco confiable y reconocido en la industria para evaluar el estado de desgaste de la tubería forzada. Estas normativas establecen los criterios y fórmulas para determinar el espesor mínimo requerido en función de diversos factores, como el material, las condiciones operativas y los mecanismos de desgaste.

RECOMENDACIONES

1. Efectuar la reparación de eliminación de los puntos externos oxidados con pintura epóxico marina, el ajuste de algunos espárragos en las bridas de las juntas de dilatación, engrase en las articulaciones móviles y dar mejoras en los puntos críticos por corrosión mediante soldadura.
2. Implementar un software en donde se pueda aplicar esta técnica de estudio puesto que se puede simular el comportamiento de la tubería frente al desgaste en los distintos puntos críticos y las misma verificarlas bajo los cálculos que establecen las normas.
3. Se recomienda realizar esta técnica de estudio en distintos ámbitos como solo son el comportamiento mecánico de los equipos y materiales puesto que es importante adquirir nuevos conocimientos, con la finalidad de aplicar de manera adecuada las Normas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agapito, J. L. (2018). *Evaluación de la Integridad Mecánica de la Tubería de Mill Sand mediante la Técnica de Ondas Guiadas aplicada en la Mina Yanacocha – Cajamarca*. (Tesis de Pregrado) Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Bilurbina Alter, L., Liesa Mestres, F., & Iribarren Laco, J. I. (2003). *Corrosión y Protección* (Primera Edición ed.). Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya, SL.
- C.R. Nave. Georgia State University. (2017). *HyperPhysics*. HTML
- Cruz, J. M. (2017). *Conformado y curvado en fabricación de Tuberías. FMEC0108*. Antequera, Málaga: IC Editorial.
- Energy API. (February 2009). *Fitness-For-Service. API 579-1/ASME FFS-1* (Second edition Ed.).
- Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán - Departamento de Ingeniería. (2010). *La prueba de ultrasonido*. Cuautitlan.
- Giménez López, R. (2005). *Frío Industrial - Mantenimiento y Servicios a la producción*. ESPAÑA: Marcombo, S.A.
- Gómez de León Hijes, F. C., & Alcaraz Lorente, D. (2004). *Manual Básico de Corrosión para Ingenieros*. España: UNIVERSIDAD DE MURCIA, Servicio de Publicaciones.
- Gómez de León, E. (2009). *END. Ultrasonido. Nivel II*. Madrid, España: Fundación Confemetal.
- Gómez de León, F. C. (1998). *Tecnología del Mantenimiento Industrial*. España: Universidad de Murcia, Servicio de Publicaciones.
- Gómez Venegas, D., Caballero Escudero, P., & Gallegos Cano, J. C. (2018). *Montaje y Mantenimiento de sistemas y componentes*. Madrid: Editex.

- Gómez, A. M. (2017). *Técnicas de mantenimiento predictivo. metodología de aplicacion en las organizaciones*. Tesis. Bogotá, Colombia.
- Hernández Ayala, M. M., & García García, O. F. (2010). *Evaluación de defectos en tuberías corroídas por medio del ódigo ASME B31G y la normaAPI 579. (Tesis de Titulación, Universidad Industrial de Santander)*. Repositorio Institucional.
file:///C:/Users/User/Videos/Desktop/Tesis%20Final%20de%20anali sis%20de%20ultrasonido/359996670-asme-31g-y-api-579-pdf.pdf
- HUATEC. (2010). Ultraconic Thickness Gauge. *Manual TG 3000*, 20.
- López Lina, G. P. (2009). *IM 147 Ultrasonido seguridad Indraestructura industrial. (Tesis de Grado, Unidades academicas de Nivel Medio Superior)*. Repositorio Institucional, Culhuacán.
- Lowry, R. (1999-2023). *Vassar College*. <http://vassarstats.net/textbook/>
- Martínez, L. L. (2018). *Procedimiento escrito de medición de espesores*. (Tesis, Ed.) Cuitlanhuac - Veracruz: Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz.
- Pilco Pilco, R. J., & Toapanta Cajamarca , E. P. (2014). *Análisis, evaluación y prevención de fallas potenciales mediante mediciones de espesores por ultrasonido en base a las normas astm e797 y bajo la aplicación de la norma ap 570 en la caldera y sistema de vapor del hospital del iess* (Tesis, P. Chimborazo). Repositorio Institucional, Riobamba, Ecuador.
- Pillaca, B. R. (2017). : *Caracterización de fallas internas en tuberías de proceso (Manifold), mediante la aplicación efectiva de Ultrasonido*. ([Tesis], Ed.) Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Riba, R. C. (2008). *Selección de materiales en el diseño de máquinas*. Barcelona: UPC, SL.
- Rodríguez, M. (22 de Octubre de 2015). *Instalación y Mantenimiento*. *Revista Digital, INESEM*.

<https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/golpe-de-ariete/>

Torre, R. G. (2018). *Evaluación del conducto forzado de la central hidráulica C.H. Huanca de Seal*. (Tesis, Ed.) Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

Valderrama, J. O. (2003). *Información Tecnológica* (Vol. 14). Chile: Editorial del Norte - Brasil 431.

ANEXOS

Tabla 304.1.1 Valores de coeficiente Y para $t < D/6$

Materiales	Temperatura, °C (°F)					
	≤ 482 (900 y menores)	510 (950)	538 (1.000)	566 (1.050)	593 (1.100)	≤ 621 (1.150 y mayores)
Aceros Ferríticos	0,4	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7
Aceros Austeníticos	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7
Otros metales ductiles	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Hierro Fundido	0,0

304.1.2 Tubo recto a presión interna

(a) Para valores de $t < D/6$, el espesor de diseño de presión interna para tubo recto no debe ser inferior al valor calculado mediante cualquiera de las ecuaciones (3a) o (3b):

$$t = \frac{PD}{2(SEW + PY)} \tag{3a}$$

$$t = \frac{P(d + 2c)}{2[SEW - P(1 - Y)]} \tag{3b}$$

(b) Para calcular el espesor de diseño por presión interna para tubo recto cuando $t \geq D/6$ o la relación $P/SE > 0,385$, se requiere la consideración especial de factores tales como: teoría de falla, efectos de fatiga y esfuerzos térmicos.

304.1.3 Tubo recto a presión externa Para determinar el espesor de pared y los requisitos de rigidez para un tubo recto sometido a presión externa, se debe seguir el procedimiento descrito en los párrafos UG-28 a UG-30 del Código de Calderas y Recipientes a Presión, Sección VIII, División 1; en este caso, se debe usar como longitud de diseño L , la longitud, medida en el eje central de la tubería, entre cualquiera de dos secciones rígidas de dicha tubería, de acuerdo con el párrafo UG-29. Como caso excepcional, para determinar P_{a2} en tubos con una relación $D_o/t < 10$, se debe usar como valor de S el menor de los siguientes valores para el material del tubo a temperatura de diseño:

(a) 1,5 veces el valor de esfuerzo obtenido de la Tabla A-1 de este Código, o

(b) 0,9 veces el valor del límite de elasticidad indicado en la Tabla Y-1 de la Parte D, Sección II para los materiales allí enumerados

(El símbolo D_o indicado en la Sección VIII es equivalente a D)

$$t = \frac{PD}{2[(SEW/D) + PY]} \tag{3c}$$

donde, en el intradós (radio interno de la curva)

$$I = \frac{4(R_1/D) - 1}{4(R_1/D) - 2} \tag{3d}$$

y en el extradós (radio externo de la curva)

$$I = \frac{4(R_1/D) + 1}{4(R_1/D) + 2} \tag{3e}$$

y en el lateral del radio del eje central de la curva, $I = 1,0$ y donde

R_1 = radio de curvatura del codo soldado o de la curva de tubo

Las variaciones de espesor desde el intradós hasta el extradós y a lo largo de la longitud de la curva deben ser graduales. Los requisitos de espesor se aplican a la mitad del ángulo de la curva, $g/2$, en el intradós, extradós y en el radio del eje central de la curva. El espesor mínimo en las tangentes de los extremos debe ser superior a los valores requeridos para un tubo recto en el párrafo 304.1 (vea la Fig. 304.2.1).

304.2.2 Codos. Los codos fabricados que no cumplan con lo indicado en el párrafo 303 deben ser calificados de acuerdo con lo requerido por el párrafo 304.7.2 o diseñados de acuerdo con el párrafo 304.2.1, excepto en la manera establecida en el párrafo 328.4.2 (b)(6).

304.2.3 Curvas mitradas. Si una curva tiene una desviación angular de 3 grados o menos (ángulo α en la Fig. 304.2.3) no requiere que se diseño como un codo mitrado. A continuación, en el punto (a) y (b) se indican los métodos aceptados para diseñar a presión codos mitrados simples o múltiples.

(a) *Codos mitrados múltiples.* La presión máxima interna permitida debe ser el menor valor obtenido de las ecuaciones (4a) y (4b). Estas ecuaciones no son aplicables cuando θ supera los 22,5 grados.

$$P_m = \frac{SEW(T - c)}{r_2} \left(\frac{T - c}{(T - c) + 0,643 \tan \theta \sqrt{r_2(T - c)}} \right) \tag{4a}$$

$$P_m = \frac{SEW(T - c)}{r_2} \left(\frac{R_1 - r_2}{R_1 - 0,5r_2} \right) \tag{4b}$$

(b) *Codos mitrados simples.*

(1) La presión máxima interna permitida para un codo biselado simple con un ángulo θ menor o igual a 22,5 grados debe calcularse usando la ecuación (4a)

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-017**

INFORME DE ENSAYO: SE-0637-18

Cliente : **EMPRESA DE GENERACION ELECTRICA DEL SUR S.A.**
 Dirección : Av. Ejército N° S/N Sub Estación de Para (Costado de Estación ElectroSur) - Tacna.
 Tipo de muestra : Producto declarado por el cliente: Agua Natural (Agua Superficial).
 Cantidad de muestras : Son 03 muestras en frascos de plásticos y vidrio.
 Muestreo y procedencia : 2018-08-21.
 Fecha de muestreo : Muestras y fecha proporcionada por el cliente.
 Lugar de recepción de las muestras : Calle Beta N° 135, Callao.
 Fecha de recepción de las muestras : 2018-08-24.
 Fecha de ejecución del ensayo : Del 2018-08-24 al 2018-09-05.

Resultados:

Descripción de la muestra	Determinación
	Sulfatos mgSO ₄ ²⁻ /L
FILT3 (Filtración 3)	334,0

Método de ensayo:

- Sulfato: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-SO₄²⁻ E, 23rd Ed. 2017. Sulfate. Turbidimetric Method.

Resultados:

Descripción de la muestra	Determinación
	Dureza Total mgCaCO ₃ /L
FILT1 (Filtración 1)	371,7

Método de ensayo:

- Dureza Total: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340 C, 23rd Ed. 2017. Hardness. EDTA Titrimetric Method.

El presente informe es redactado íntegramente en ECOLAB SRL, su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia, no podrá ser reproducido parcial o totalmente salvo autorización escrita de ECOLAB SRL; solo es válido únicamente a las muestras ensayadas. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El periodo de custodia de la muestra está definido por 30 días calendario de ingresado la muestra al laboratorio, excedido el tiempo o menos días será eliminada en función de las características evaluadas inicialmente en el producto así como su perecibilidad.

Callao, 06 de Setiembre de 2018.

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-017**

INFORME DE ENSAYO: **SE-0637-18**

Resultados:

Descripción de la muestra	Determinaciones				
	Boro [§] mgB/L	Sodio [§] mgNa/L	Aluminio [§] mgAl/L	Cromo [§] mgCr/L	Manganeso [§] mgMn/L
FILT2 (Filtración 2)	9,43	261,46	0,03832	< 0,00030	0,01810

[§]Metales Totales

Donde se indica "< que" se refiere menor al límite de detección del método de acuerdo a la matriz acuosa correspondiente, ver anexo.

Descripción de la muestra	Determinaciones			
	Hierro [§] mgFe/L	Níquel [§] mgNi/L	Cobre [§] mgCu/L	Zinc [§] mgZn/L
FILT1 (Filtración 1)	0,06661	< 0,00022	0,00207	0,30854

[§]Metales Totales

Donde se indica "< que" se refiere menor al límite de detección del método de acuerdo a la matriz acuosa correspondiente, ver anexo.

Descripción de la muestra	Determinaciones			
	Arsénico [§] mgAs/L	Selenio [§] mgSe/L	Molibdeno [§] mgMo/L	Plomo [§] mgPb/L
FILT1 (Filtración 1)	0,65671	0,00329	0,00813	0,00091

[§]Metales Totales

El presente informe es redactado íntegramente en ECOLAB SRL, su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia, no podrá ser reproducido parcial o totalmente salvo autorización escrita de ECOLAB SRL; solo es válido únicamente a las muestras ensayadas. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El periodo de custodia de la muestra está definido por 30 días calendario de ingresado la muestra al laboratorio, excedido el tiempo o menos días será eliminada en función de las características evaluadas inicialmente en el producto así como su perecibilidad.

Callao, 06 de Setiembre de 2018.

CUADRO N° 4

DETERMINACIÓN Y PLANILLA DE CALCULO DE ESPEORES - NORMA ASME API 579, ANEXO A

Tramos	Progresiva	Diámetro	Radio	Presión	Tolerancia de corrosión según JIS para el material (pulgada)	Eficiencia por diseño y factor de seguridad según JIS	Material según JIS psi	Espesor Medido (mm)					Espesor de Diseño mm	Calculo de Espesores			
	Progresiva	pulgada	pulgada	PSI				Mínimo de Tramo	Progresiva Punto	Máximo de Tramo	Progresiva Punto	Promedio de Tramo		t1-min (pulgada)	tc-min (pulgada)	treq (pulg)	treq (mm)
1	0 - 84	47.24	23.62	58.03	0.08	0.90	42746	5.52	42 - A	8.72	84 - D	7.12	6.00	0.01781	0.03566	0.03566	0.91
2	85 - 185	47.24	23.62	128.50	0.07	0.90	42746	4.52	87 - A	7.89	135 - C	6.21	6.00	0.0394	0.07906	0.07906	2.01
3	186 - 251	43.31	21.65	212.50	0.06	0.90	42746	4.86	232 - A	9.39	206 - C	7.13	7.00	0.0597	0.12000	0.12000	3.05
4	252 - 286	39.37	19.69	300.00	0.06	0.90	42746	4.86	257 - B	10.42	286 - B	7.64	9.00	0.0766	0.15423	0.15423	3.92
Sotano	287 - 292	37.40	18.70	1280.00	0.06	0.90	52626	4.86	258 - B	10.42	287 - B	7.64	17.00	0.2513	0.51372	0.51372	13.05

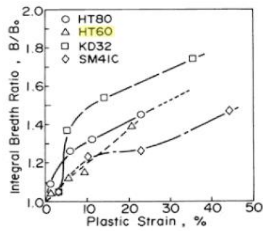


Fig. Relation between Integral Breadth Ratio and Plastic Strain

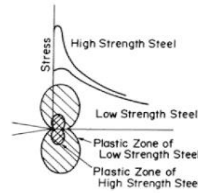


Fig. Illustration of the Plastic Zone at the Notch Tip at a Certain Fracture Toughness Level for Different Strength Steels

Donde:

- P : Presión interna, psi.
- D : Diámetro interior de la tubería, pulg.
- R : Radio interior de la tubería menos tc, pulg.
- E : Eficiencia de la junta
- S : Esfuerzo de fluencia del material, psi.
- Tc min : Espesor min por esfuerzos circunferenciales, pulg
- t1 min : Espesor min por esfuerzos longitudinales, pulg
- treq : Espesor mínimo requerido, mm
- Tc : Tolerancia de corrosión según JIS para los materiales indicados, pulg.

a) Circumferential Stress when $P \leq 0.385SE$ and $t_{min}^c \leq 0.5R$ (Longitudinal Joints)

$$t_{min}^c = \frac{PR}{SE - 0.6P} \quad (A.9)$$

$$MAWP^c = \frac{SEt_c}{R + 0.6t_c} \quad (A.10)$$

$$\sigma_m^c = \frac{P}{E} \left(\frac{R}{t_c} + 0.6 \right) \quad (A.11)$$

c) Longitudinal Stress when $P \leq 1.25SE$ and $t_{min}^L \leq 0.5R$ (circumferential Joints)

$$t_{min}^L = \frac{PR}{2SE + 0.4P} + t_{sl} \quad (A.15)$$

$$MAWP^L = \frac{2SE(t_c - t_{sl})}{R - 0.4(t_c - t_{sl})} \quad (A.16)$$

$$\sigma_m^L = \frac{P}{2E} \left(\frac{R}{t_c - t_{sl}} - 0.4 \right) \quad (A.17)$$

e) Final Values:

$$t_{min} = \max [t_{min}^c, t_{min}^L] \quad (A.21)$$

$$MAWP = \min [MAWP^c, MAWP^L] \quad (A.22)$$

$$\sigma_{max} = \max [\sigma_m^c, \sigma_m^L] \quad (A.23)$$

Certificado de Aprobación

Certificate of approval

Products Name: Ultrasonic Thickness Gauge

Products Type: TG3000

Main unit No: H00317031507

The product accords with the technical criteria and is allowed to sell.

QUALITY CONTROL ENGINEER: 张研

Inspection date: 2017.3.29



HUATEC GROUP
BEIJING NDT INSTRUMENTS CO.,LTD

