

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA PETROLERA



**APLICACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS
EN LA MEDICIÓN DEL DESGASTE DE TUBERÍAS Y
ACCESORIOS EN ESTACIONES DISTRITALES DE
REGULACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO
ULTRASÓNICO DE LA CIUDAD DE EL ALTO**

Proyecto de Grado para obtener el Grado de Licenciatura

POR: LURDES ALBERTO QUISPE

TUTOR: ING. FERNANDO CUEVAS BANDA

La Paz - Bolivia
2021



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA**



LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

DEDICATORIA

El presente proyecto de grado es dedicado a Dios por siempre darme fuerzas para seguir adelante y a mi familia por ese apoyo incondicional, por esos momentos alegres y tristes que hemos compartido, por ser el ejemplo de unión y fuerza.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecerle a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud y sabiduría para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor para conmigo y todas las personas que me rodean.

Debo agradecer de manera muy especial y sincera a los ingenieros Fernando Cuevas, Mario Daza, José D. Álvarez y Pamela Chambi, los cuales me ayudaron y guiaron en la elaboración del presente proyecto.

A mi amada Universidad Mayor de San Andrés y gloriosa Facultad de Ingeniería, por los conocimientos que recibí a través de sus docentes, que me han llenado de innumerables experiencias y una inmejorable formación académica, en el camino de mi formación como ingeniero.

“Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente; no temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios estará contigo en dondequiera que vayas.” Josué 1:9.

RESUMEN

El fenómeno de la corrosión no puede ser erradicado completamente, pero es posible controlar su avance antes que el mismo ocasione problemas, existen muchos métodos para la detección de corrosión, entre ellos están los no destructivos.

Se considera de suma importancia el conocimiento de este tipo de ensayos, en este proyecto se trata de dar los lineamientos que se deben seguir en el momento de aplicar el método ultrasónico, siendo este punto de suma importancia para asegurar la correcta ejecución y así poder obtener un resultado confiable. Dado que, en muchas ocasiones, en la práctica, no se lleva a cabo gracias a que el personal administrativo o supervisor únicamente recibe resultados de la prueba y no se lleva a cabo una inspección adecuada de la aplicación del ensayo.

En el presente trabajo de grado se exponen los resultados de la evaluación de corrosión de las tuberías y accesorios en las estaciones distritales de regulación de la ciudad de El Alto, los cuales son 24, se ha realizado la medición de espesores en los años 2019 y 2020 para poder determinar los años aproximados de vida útil restante en las tuberías y accesorios, así también para su siguiente medición y determinación de desgaste en las mismas de acuerdo a recomendaciones de códigos internacionales.

La técnica utilizada para la medición de espesores fue el método no destructivo ultrasónico, el equipo utilizado es DM5E, la cual es muy útil y practica para evaluar la corrosión. Esta técnica ayuda a obtener los espesores actuales medidos en diferentes puntos del objeto con una previa calibración del equipo a utilizar apropiado para medir el espesor del material que es el acero galvanizado, con los cuales podremos obtener la velocidad de corrosión que sufren las tuberías y accesorios.

A parte de medir el grado de corrosión en tuberías y accesorios, se analizará los resultados obtenidos de velocidad de desgaste, que es un indicador muy importante para controlar el avance de la corrosión. Se identificará en que accesorios es más crítica el avance de disminución del espesor.

Para realizar la medición de forma adecuada se pone en práctica el procedimiento de medición de espesores por el método pulso-eco, realizados por YPFB – Redes de Gas, complementando con las recomendaciones internacionales de API 570, así también para realizar algunos cálculos las especificaciones ASME B31.8.

Se presentan los resultados obtenidos en cada una de las estaciones distritales de regulación, con las recomendaciones correspondientes.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN.....	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
GLOSARIO.....	xv
CAPÍTULO I.....	1
1. GENERALIDADES	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Delimitación	1
1.2.1 Límite geográfico.....	1
1.2.2 Límite temporal.....	2
1.3 Identificación del problema	2
1.4 Formulación del problema.....	2
1.5 Objetivos.....	2
1.5.1 Objetivo General.....	2
1.5.2 Objetivo Específico.....	3
1.6 Justificación	3
1.6.1 Justificación económica	3
1.6.2 Justificación social.....	3
1.6.3 Justificación ambiental	3
1.6.4 Justificación personal.....	4
CAPÍTULO II.....	5
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Corrosión	5
2.1.1 Corrosión por erosión.....	6
2.1.2 Aceros galvanizados	6

2.2 Gas Natural.....	7
2.3 Regulación y distribución de gas natural	7
2.3.1 City Gate (Puerta de la Ciudad).....	8
2.3.2 Red Primaria.....	10
2.3.3 Estación Distrital de regulación.....	10
2.3.3.1 Ubicación.....	11
2.3.3.2 Recintos con Cerco de Malla	12
2.3.3.3 Recintos con caseta de mampostería	13
2.3.3.4 Operación de las EDR's.....	14
2.3.3.5 Estaciones Distritales de Regulación de El Alto.....	15
2.3.3.6 Mantenimiento de Estaciones Distritales de Regulación	16
2.3.4 Red secundaria	16
2.3.5 Instalaciones Internas y Acometidas	17
2.4 Técnicas existentes en ensayos no destructivos	18
2.4.1 Clasificación de las pruebas no destructivas.....	18
2.4.1.1 Pruebas no destructivas superficiales	18
2.4.1.2 Pruebas no destructivas volumétricas	18
2.4.1.3 Pruebas no destructivas de hermeticidad.....	18
2.4.2 Inspección Visual	18
2.4.3 Líquidos Penetrantes	19
2.4.4 Partículas Magnéticas.....	20
2.4.5 Corrientes Electromagnéticas.....	21
2.4.6 Radiografiado Industrial	22
2.4.7 Ultrasonido Industrial.....	22
CAPÍTULO III.....	25
3. FUNDAMENTO FÍSICO, DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA ULTRASONIDO Y PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN.....	25
3.1 Principios básicos.....	25

3.2 Física del ultrasonido	27
3.2.1 Consideración de la Longitud de Onda en la Detección de Discontinuidades	29
3.2.2 Propagación de Ondas Mecánicas	29
3.2.3 La velocidad del sonido.....	31
3.2.4 Impedancia acústica.....	31
3.3 Equipos ultrasónicos	32
3.3.1 Medidores de espesores.....	32
3.4 Acoplante.....	35
3.5 Calibración del equipo.....	35
3.6 Criterios de aceptación.....	36
3.6.1 Criterios de aceptación y evaluación de resultados de examinación para medición de espesores.	37
3.6.1.1 Criterios de aceptación de acuerdo a API 570 aplicables a tuberías de proceso y opcional a ductos.....	37
3.6.1.2 Criterios de aceptación de acuerdo a API 510 recipientes a presión.	39
3.7 Procedimiento de la inspección por ultrasonido	40
3.7.1 Procedimiento de evaluación	40
3.8 Análisis FODA de la inspección por ultrasonido.....	46
3.9 Equipo de protección personal necesario para llevar a cabo el trabajo.	47
CAPÍTULO IV	50
4. APLICACIÓN PRÁCTICA Y RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO EN EDR'S DE EL ALTO	50
4.1 Estaciones de regulación inspeccionadas.....	50
4.2 Reporte de resultados de la inspección.....	50
4.3 Cálculos	58
4.4 Resultados y evaluación de resultados	66
4.4.1 Resultados.....	66
4.4.2 Evaluación de resultados vida restante.....	69

4.4.2.1 Relación de vida útil restante y marcas de las EDR's.....	71
4.4.2.2 Relación de vida útil restante y capacidad de las EDR's.....	71
4.4.3 Evaluación de resultados velocidad de desgaste.....	72
CAPÍTULO V	101
5. ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO	101
5.1 Costos directos.....	101
5.1.1 Costos de equipos.....	101
5.1.2 Costos en el personal.....	102
5.1.3 Costos varios u otros gastos.....	103
5.2 Análisis Costo-Beneficio.....	103
CAPÍTULO VI	105
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	105
6.1 Conclusiones	105
6.2 Recomendaciones.....	106
BIBLIOGRAFÍA.....	108
ANEXOS.....	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Simbología del esquema de Estación Distrital de Regulación.	11
Tabla 2-2 Lista de EDR's Ciudad de El Alto.	15
Tabla 3-1 Velocidades e impedancias acústicas.	31
Tabla 4-1 Características de los EDR's.	50
Tabla 4-2 Descripción de los objetos medidos de la Estación Distrital de Regulación Marca Francel.	51
Tabla 4-3 Descripción de los objetos medidos de la Estación Distrital de Regulación Marca Armec.	53
Tabla 4-4 Descripción de los objetos medidos de la Estación Distrital de Regulación Shangai Fiorentini.	54
Tabla 4-5 Descripción de los objetos medidos de la Estación Distrital de Regulación Marca Total.	55
Tabla 4-6 Descripción de los objetos medidos de la Estación Distrital de Regulación Marca Gascat.	56
Tabla 4-7 Ejemplo de datos recogidos en campo del EDR 1 (Línea Principal).	57
Tabla 4-8 Ejemplo de datos recogidos en campo del EDR 1 (Línea Stand By).	58
Tabla 4-9 Ejemplo de datos recogidos en campo del EDR 1 (Línea By Pass).	58
Tabla 4-10 Espesores críticos actuales medidos en la Línea Principal EDR 1.	61
Tabla 4-11 Espesores críticos actuales medidos en la Stand By EDR 1.	61
Tabla 4-12 Velocidad de desgaste calculados en cada punto y velocidad crítica EDR 1 (Línea Principal).	62
Tabla 4-13 Velocidad de desgaste calculados en cada punto y velocidad crítica EDR 1 (Stand By).	63
Tabla 4-14 Velocidad de desgaste calculados en cada punto y velocidad crítica EDR 1 (By Pass).	63
Tabla 4-15 Resultados de años de vida restante en cada línea de todos las EDR's.	67
Tabla 4-16 Velocidades de desgaste calculadas de cada línea de todos los EDR's.	68
Tabla 4-17 Resultados de la siguiente inspección de cada EDR.	69
Tabla 4-18 Relación de la Vida Restante y Marcas de las EDR's.	71
Tabla 4-19 Relación de la Vida Restante y Capacidad de las EDR's.	72
Tabla 4-20 Datos de velocidad de desgaste en cada uno de los puntos (EDR 1).	75
Tabla 4-21 Resultados obtenidos para las gráficas de la media y rango de las velocidades (EDR 1).	76

Tabla 4-22 Resumen de velocidades medias de desgaste en EDR's.	99
Tabla 5-1 Precio ofertado del equipo DM5E (Helios Precisión)	101
Tabla 5-2 Precio ofertado del equipo DM5E (Measurement & Control Solutions Corp.) .	102
Tabla 5-3 Detalle de costos de equipos en dólares.	102
Tabla 5-4 Detalle de costos en el personal en dólares.	103
Tabla 5-5 Detalle de otros gastos en dólares.	103
Tabla A-1 Factor de Junta Longitudinal, E.....	111
Tabla A-2 Factor Básico de Diseño, F	111
Tabla A-3 Factor de Disminución de Temperatura, T	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 0-1 Posición o punto de medición.....	xv
Figura 1-1 Ubicación de las EDR`s de la Ciudad de El Alto	2
Figura 2-1 Clasificación de la corrosión.....	5
Figura 2-2 Corrosión por erosión.	6
Figura 2-3 Tubería galvanizada para Gas Natural.	7
Figura 2-4 Sistema de Distribución de Gas Natural.	8
Figura 2-5 City Gate Senkata.....	8
Figura 2-6 Ubicación City Gate Senkata.....	9
Figura 2-7 City Gate Janqu Qala.	9
Figura 2-8 Ubicación City Gate Janqu Qala.	9
Figura 2-9 Red primaria.	10
Figura 2-10 Esquema típico de Estación Distrital de Regulación	11
Figura 2-11 Compendio de fotografías de EDR`s con cerco de malla.	13
Figura 2-12 Compendio de fotos de EDR`s con caseta de mampostería.	14
Figura 2-13 Líneas de operación del EDR.....	15
Figura 2-14 Red secundaria.....	17
Figura 2-15 Instalación interna y gabinete de medición.....	17
Figura 2-16 Gabinete de medición.....	17
Figura 2-17 Acometida.	18
Figura 2-18 Inspección visual.	19
Figura 2-19 Líquidos penetrantes.	20
Figura 2-20 Partículas magnéticas.	21
Figura 2-21 Corrientes electromagnéticas.....	21
Figura 2-22 Radiografiado industrial.....	22
Figura 2-23 Ultrasonido industrial.	24
Figura 3-1 Equipo ultrasónico (DM5E).....	26
Figura 3-2 Transductor.....	27
Figura 3-3 Gel acoplante.....	27
Figura 3-4 Espectro del sonido.	28
Figura 3-5 Propagación de ondas longitudinales.	30
Figura 3-6 Propagación de ondas transversales.....	30
Figura 3-7 Equipo ultrasónico medidor de espesores.....	33
Figura 3-8 Equipo ultrasónico medidor de espesores sin estimación de recubrimiento.	34

Figura 3-9 Equipo ultrasónico con imagen (barrido tipo A).	34
Figura 3-10 Acoplante.	35
Figura 3-11 Bloques de calibración.	36
Figura 3-12 Evaluación de las picaduras.	40
Figura 3-13 Puntos de medición en tubería.	41
Figura 3-14 Caso práctico de los puntos de medición en tubería.	42
Figura 3-15 Puntos de medición en codos.	42
Figura 3-16 Caso práctico de los puntos de medición en codos.	43
Figura 3-17 Puntos de medición en tee.	43
Figura 3-18 Caso práctico de los puntos de medición en tee.	44
Figura 3-19 Objetos a medir en la línea principal.	44
Figura 3-20 Líneas de regulación de una Estación Distrital de regulación tipo.	45
Figura 3-21 Matriz FODA de la inspección por ultrasonido.	46
Figura 3-22 Casco de protección personal.	47
Figura 3-23 Gafas de Protección personal.	48
Figura 3-24 Guantes, camisa y chaleco de protección personal.	48
Figura 3-25 Pantalón y botas de protección personal.	48
Figura 3-26 Tapones, bandas y orejeras para protección auditiva.	49
Figura 4-1 Líneas de Regulación y objetos de medición de la EDR Marca Francel.	51
Figura 4-2 Líneas de Regulación y objetos de medición de la EDR Marca Armec.	52
Figura 4-3 Líneas de Regulación y objetos de medición de la EDR Marca Shangai Fiorentini.	53
Figura 4-4 Líneas de Regulación y objetos de medición de la EDR Marca Total.	54
Figura 4-5 Líneas de Regulación y objetos de medición de la EDR Marca Gascat.	55
Figura 4-6 Objetos medidos en el EDR 1 (Marca Francel)	57
Figura 4-7 Relación de la Vida Restante entre los EDR's.	70
Figura 4-8 Relación de la Vida Restante y Marcas de las EDR's.	71
Figura 4-9 Relación de la Vida Restante y Capacidad de las EDR's.	72
Figura 4-10 Medias de las velocidades de desgaste EDR 1.	76
Figura 4-11 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 1.	76
Figura 4-12 Llenado de datos EDR 1 Statgraphics.	77
Figura 4-13 Resultados de velocidades de desgaste de la EDR 1 (Statgraphics)	77
Figura 4-14 Reglas de decisión o prueba de rachas EDR 1.	78
Figura 4-15 Medias de las velocidades de desgaste EDR 2.	79

Figura 4-16 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 2.....	79
Figura 4-17 Medias de las velocidades de desgaste EDR 3.....	80
Figura 4-18 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 3.....	80
Figura 4-19 Medias de las velocidades de desgaste EDR 4.....	81
Figura 4-20 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 4.....	81
Figura 4-21 Medias de las velocidades de desgaste EDR 5.....	81
Figura 4-22 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 5.....	82
Figura 4-23 Medias de las velocidades de desgaste EDR 6.....	82
Figura 4-24 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 6.....	83
Figura 4-25 Medias de las velocidades de desgaste EDR 7.....	83
Figura 4-26 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 7.....	83
Figura 4-27 Medias de las velocidades de desgaste EDR 8.....	84
Figura 4-28 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 8.....	84
Figura 4-29 Medias de las velocidades de desgaste EDR 9.....	85
Figura 4-30 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 9.....	85
Figura 4-31 Medias de las velocidades de desgaste EDR 10.....	86
Figura 4-32 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 10.....	86
Figura 4-33 Medias de las velocidades de desgaste EDR 11.....	87
Figura 4-34 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 11.....	87
Figura 4-35 Medias de las velocidades de desgaste EDR 12.....	88
Figura 4-36 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 12.....	88
Figura 4-37 Medias de las velocidades de desgaste EDR 13.....	88
Figura 4-38 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 13.....	89
Figura 4-39 Medias de las velocidades de desgaste EDR 14.....	89
Figura 4-40 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 14.....	90
Figura 4-41 Medias de las velocidades de desgaste EDR 15.....	90
Figura 4-42 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 15.....	91
Figura 4-43 Medias de las velocidades de desgaste EDR 16.....	91
Figura 4-44 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 16.....	92
Figura 4-45 Medias de las velocidades de desgaste EDR 17.....	92
Figura 4-46 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 17.....	92
Figura 4-47 Medias de las velocidades de desgaste EDR 18.....	93
Figura 4-48 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 18.....	93
Figura 4-49 Medias de las velocidades de desgaste EDR 19.....	94

Figura 4-50 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 19.....	94
Figura 4-51 Medias de las velocidades de desgaste EDR 20.....	94
Figura 4-52 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 20.....	95
Figura 4-53 Medias de las velocidades de desgaste EDR 21.....	95
Figura 4-54 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 21.....	96
Figura 4-55 Medias de las velocidades de desgaste EDR 22.....	96
Figura 4-56 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 22.....	97
Figura 4-57 Medias de las velocidades de desgaste EDR 28.....	97
Figura 4-58 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 28.....	97
Figura 4-59 Medias de las velocidades de desgaste EDR 32.....	98
Figura 4-60 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 32.....	98
Figura 4-61 Cantidad de EDR's por objetos inspeccionados con velocidades medias de desgaste críticas.....	99
Figura E-1 Cotización Helios Precisión.....	142
Figura E-2 Cotización Measurement & Control Solutions Corp.	143

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A Tablas del ASME B 31.8	111
Anexo B Control de variables	112
Anexo C Reporte de mediciones y cálculos de la inspección ultrasónica	113
Anexo D Resultados obtenidos para las gráficas de la media y rango de las velocidades de desgaste.	137
Anexo E Cotizaciones del equipo de medición ultrasónica	142
Anexo F Programa anual de contrataciones (PAC).	144
Anexo G Catálogo del equipo de medición DM5E.	145

GLOSARIO

- **Aguas abajo.** - Se entiende por “aguas abajo de” o “corriente abajo de” a la expresión que ubica un determinado objeto que se encuentra instalado posterior al de referencia en el sentido de circulación del fluido.
- **Aguas arriba.** - Se entiende por “aguas arriba de” o “corriente arriba de” a la expresión que ubica a un determinado objeto que se encuentra instalado en forma precedente al de referencia en el sentido de la circulación del fluido.
- **Espesor de retiro (t retiro).** - Es el espesor con el cual deben retirarse los tramos de tubería y componentes de acuerdo con sus condiciones de diseño; para tuberías según la ASME B31.8.
- **Máxima presión de operación.** – Es la presión más alta a la cual se opera un sistema de tuberías durante un ciclo normal de operación.
- **Medición de espesor localizado (MEL).** - Son áreas designadas en sistemas de cañerías en donde se realizarán inspecciones y mediciones de espesor periódico.
- **Nivel de medición.** - Es el conjunto de posiciones de medición que se deben efectuar en un mismo sitio de una tubería o componente.
- **Palpador.** - Son mecanismos contruidos con cristales de espesor determinado, que pueden contener elementos transductores sencillos o dobles. El diámetro o dimensiones del elemento transductor deben ser las adecuadas, para asegurar el acoplamiento 100% de su área de contacto con la superficie de inspección. La función del palpador es convertir la energía eléctrica en energía mecánica o viceversa.
- **Periodicidad de medición de espesores.** - Se considera como tal el tiempo que transcurre entre una fecha de medición y la siguiente consecutiva, la cual depende del análisis de la velocidad de desgaste.
- **Posición o punto de medición.** - Es el lugar donde se mide el espesor de pared y es una zona que comprende un círculo de 1.5 pulgadas por lo menos de diámetro donde se efectúan las mediciones resultando en un valor promedio en función a la cantidad de valores medidos.

Figura 0-1 Posición o punto de medición.



Fuente: Procedimiento PP-2-DOM/UEST-13-B.

- **Presión.** - Fuerza que se ejerce por unidad de superficie expresada en pascales (Pa) o unidades equivalentes (bar, kg/cm², milímetros de columna de agua, milímetros de columna de mercurio etc.) o sus múltiplos.
- **Regulador de presión.** - aparato que reduce la presión del fluido que recibe y la mantiene constante independientemente de los caudales que permite pasar y de la variación de presión aguas arriba del mismo, dentro de los rangos admisibles.
- **Reparación.** - Es el trabajo necesario para restaurar un sistema de cañería a una condición conveniente para la operación segura. Si cualquiera de los cambios restaurativos produce un cambio de presión o de temperatura de proyecto, además se satisfacen los requisitos para reclasificación. Cualquier operación de soldadura, corte o pulido sobre un componente de cañería el cual contiene presión no considerado específicamente como una alteración se considera una reparación.
- **Velocidad de desgaste.** - Rapidez con la cual disminuye el espesor de una pared metálica. Se calcula comparando los espesores obtenidos en mediciones efectuadas en dos fechas consecutivas.
- **Vida restante estimada por corrosión interna (L_{RE-CI}).** - Es el tiempo supuesto que debe transcurrir antes que los elementos mecánicos o tramo de red primaria en análisis llegue a su espesor de retiro por corrosión interna.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

Con la excepción de algunos metales nobles, tales como el oro y el platino, la mayoría de los metales se encuentran en la naturaleza en forma de minerales (óxidos o sales) que constituyen las formas estables de estos metales.

Para obtener los metales en condiciones aptas para las aplicaciones industriales, se han de “purificar” sus minerales sometiéndolos a una serie de transformaciones metalúrgicas que destruyen su equilibrio natural.

Los metales puros así obtenidos (por ejemplo, el hierro) abandonados a la acción de la naturaleza, (canalizaciones enterradas o sumergidas o simplemente expuestas a la intemperie), se transforman más o menos rápidamente hasta alcanzar el estado estable de los minerales naturales: óxidos o sales.

Esta degradación, el retorno a su estado natural, es la corrosión.

Para las estaciones distritales de regulación se tiene procedimientos para evitar la corrosión externa mediante pintura anticorrosiva, este procedimiento se emplea en las superficies de depósitos, tuberías y sus apoyos que van a estar expuestas a la acción atmosférica.

La corrosión hace que vaya disminuyendo el espesor de tubería y accesorios de metal, lo cual se debe controlar para evitar accidentes, fugas, entre otros.

Uno de los métodos más sencillos y empleados en tuberías y accesorios vistos, son los métodos ultrasónicos que se encuentra dentro de los ensayos no destructivos.

1.2 Delimitación

1.2.1 Límite geográfico

La aplicación del proyecto se lleva a cabo en la ciudad de El Alto, ubicado en el departamento de La Paz, país Bolivia.

El 6 de marzo de 1985, el Congreso Nacional aprobó la Ley N° 728 que crea la Cuarta Sección Municipal de la provincia Murillo, con su capital El Alto. El 26 de septiembre de 1988 se promulga la Ley N° 1014 elevando a El Alto a rango de ciudad.

La urbe más joven y combatiente de Bolivia está ubicada a más de 4.000 metros sobre el nivel del mar en la meseta altiplánica, al oeste de La Paz.

La ciudad de El Alto consta de 24 EDR's, los mismos se ubican como se detalla en la siguiente figura:

Figura 1-1 Ubicación de las EDR's de la Ciudad de El Alto



Fuente: Elaborado en Google Earth en base a las direcciones y coordenadas (2020).

1.2.2 Límite temporal.

El estudio a realizarse se lleva a cabo con datos recogidos de un año base a otro año actual, lo que se tomará en cuenta en los cálculos para determinar el tiempo de vida útil que tienen las tuberías y accesorios de las estaciones distritales de regulación de la ciudad de El Alto, además que también se podrá estimar cada cuantos años se debe hacer la inspección en las mismas.

1.3 Identificación del problema

Las tuberías y accesorios en las estaciones distritales de regulación están sujetas a corrosión, es decir, a la pérdida de material que va disminuyendo el espesor de la pared y que puede llegar a condiciones críticas debido a las condiciones del gas natural, las velocidades de la misma y las impurezas que arrastran el gas natural.

Por esta razón es necesario establecer un ensayo no destructivo para conocer el desgaste actual y futuro del espesor presentado en dichas tuberías y accesorios en las estaciones distritales de regulación de la ciudad de El Alto.

1.4 Formulación del problema

¿Se encuentran en buen estado las tuberías y accesorios que conforman las estaciones distritales de regulación de la ciudad de El Alto, evaluadas en 2021?

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

- Aplicar el ensayo no destructivo por inspección de ultrasonido enfocado en la medición de espesores, para estudiar el desgaste por corrosión interna de las tuberías y accesorios en estaciones distritales de regulación de la ciudad de El Alto para así estimar la velocidad de desgaste por corrosión interna y la vida restante de los mismos, en los años 2019 y 2020.

1.5.2 Objetivo Específico

- Dar a conocer los distintos métodos de ensayos no destructivos haciendo énfasis en el método ultrasónico y describir los equipos y accesorios necesarios para la inspección ultrasónica de las tuberías forzadas a presión.
- Considerar las condiciones de operación de las estaciones distritales de regulación y sus características para poder calcular el espesor mínimo requerido en tuberías y accesorios.
- Aplicar procedimientos existentes en la medición de los espesores de las tuberías y accesorios de las estaciones distritales de regulación, mediante inspección ultrasónica, para ambas gestiones.
- Realizar el tratamiento de los datos obtenidos en la medición de espesores, para poder estimar el grado de corrosión y velocidad de desgaste en tuberías y accesorios. Mediante cálculos en Excel y gráficos de control por variables en Statgraphics.
- Analizar los resultados obtenidos para poder ver cual línea es la más afectada en los EDR's por corrosión interna, además de las variabilidades de las velocidades de corrosión y años de vida remanente en tuberías y accesorios.

1.6 Justificación

1.6.1 Justificación económica

El método seleccionado ultrasónico es uno de los métodos no destructivos más económico y práctico. Los materiales que se emplearan también son económicos.

Al realizar este tipo de inspección se optimiza tiempos y materiales que se exigiría en otro tipo de métodos de inspección, lo cual resultaría en una mayor inversión para realizar el proyecto.

1.6.2 Justificación social

Debido a que la evaluación del estado de las tuberías y accesorios es importante para la gente que vive alrededor de las estaciones distritales de regulación del gas natural domiciliario, por su seguridad se debe prever y afirmar que sean estaciones seguras.

Con el proyecto se pretende brindar a las familias mayor seguridad y que no sea un peligro vivir a lado de una de las estaciones de regulación de gas natural de la ciudad de El Alto.

1.6.3 Justificación ambiental

A pesar que sabemos que el gas natural es uno de los combustibles más amigable con el ambiente, al asegurarnos de un buen estado de las tuberías y accesorios evitamos posibles fugas de gas natural al medio ambiente.

Con el método ultrasónico tampoco causamos daño al medio ambiente.

1.6.4 Justificación personal

Al haber realizado prácticas industriales en el área de operación y mantenimiento, se vio el tema en estudio con más minuciosidad, por lo tanto, se optó por realizar el presente proyecto de grado para obtener el título en ingeniería.



CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se verán algunos conceptos básicos para el entendimiento del desarrollo del presente trabajo.

2.1 Corrosión

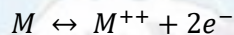
La palabra corrosión se deriva del latín *corrodere*, que significa “roer en pedazos”, siendo la definición general de corrosión, desgaste gradualmente.

El proceso de corrosión se define como una reacción química o electroquímica que sufre un material, usualmente un metal, y el ambiente (todo lo que se encuentra en contacto con el material) que produce un deterioro del material y sus propiedades.

Existe una tendencia por parte de los metales a volver a su estado natural en forma de óxidos, hidróxidos y sales. Por tal motivo por la corrosión también se llega a afectar la misión para la cual está diseñado el material.¹

- Mecanismo de corrosión

Si en el equilibrio del metal con su ion y su electrón:



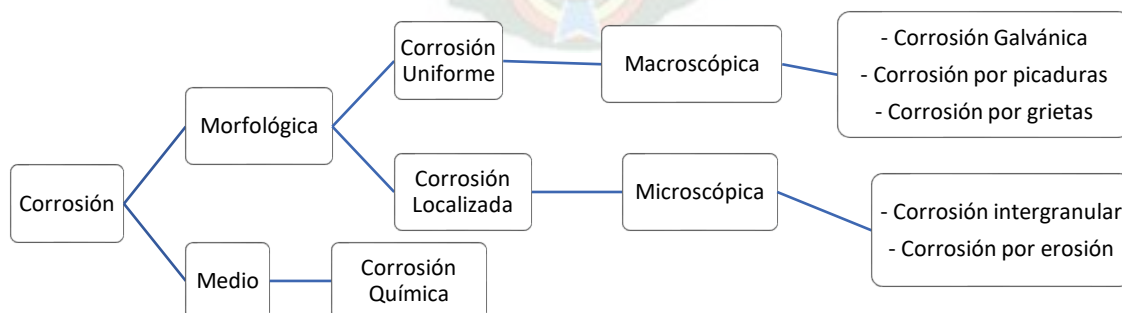
Se hace que el electrolito absorba los electrones, se destruye el equilibrio y los iones metálicos pasan a la solución. Esta reacción se seguirá produciendo mientras el medio siga absorbiendo electrones.²

- Clasificación de la corrosión

La corrosión se puede clasificar en función de cómo se realice la transferencia de electrones.

Es decir, según su morfología (corrosión electroquímica) o según el medio en que se desarrolla (química), es decir:

Figura 2-1 Clasificación de la corrosión.



Fuente: Elaborado en base a la información detallada en el libro (ASM International, 2003)

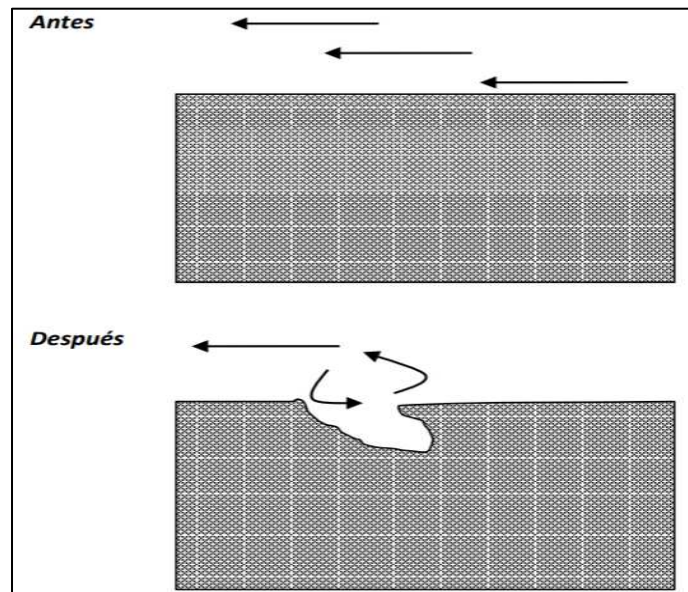
¹ (ASM International, 2003)

² (ASM International, 2003)

2.1.1 Corrosión por erosión

Ocurre cuando la corrosión está acompañada por un proceso de desgaste mecánico (o abrasivo), normalmente debido a que existe un movimiento relativo entre el material metálico y el medio corrosivo. Tal sería el caso de una cañería dentro de la que circula un fluido agresivo a alta velocidad. En estos casos, la capa pasiva está continuamente sometida a efectos corrosivos y de desgaste en forma simultánea, de modo que la continua eliminación de esta capa protectora acelera la corrosión.³

Figura 2-2 Corrosión por erosión.



Fuente: Extraído del libro La Corrosión (Vázquez, 2018)

2.1.2 Aceros galvanizados

El acero galvanizado al ser expuesto presenta un mejor comportamiento frente a la corrosión, confirmando así, que el depósito superficial de zinc incrementa la vida útil de acero. El acero galvanizado presenta una buena resistencia a la corrosión, debido a que tiene la propiedad de formar una película compacta y de buena adherencia sobre el hierro. Por otra parte, al ser el zinc un metal más activo que el hierro, da lugar a la formación de un par galvánico con el acero, disminuyendo así la velocidad de deterioro del acero. Sin embargo, el nivel de protección del acero galvanizado depende de varios factores, tales como, espesor y porosidad de la capa de zinc, adherencia al hierro, naturaleza de los productos de corrosión formados, así como también del tiempo de exposición al medio y el contenido de contaminantes en la atmósfera.

³ (Vázquez, 2018)

Figura 2-3 Tubería galvanizada para Gas Natural.



Fuente: Tomada de la página web de la empresa SUIMPORT (Suplidores Industriales y de la Construcción).

2.2 Gas Natural

El gas natural es una sustancia de origen fósil, procedente de la descomposición de materia orgánica atrapada bajo la superficie terrestre en estratos que han impedido su liberación a la atmosfera.

Esta formado en su mayor parte por metano (en proporciones próximas al 90% en volumen, dependiendo de la procedencia) y fracciones variables de hidrocarburos gaseosos más pesados (etano, propano, butano, pentano y hexano) y otros gases como nitrógeno y dióxido de carbono, en función de su origen y procesos a los que haya sido sometido. Es incoloro, no toxico e inodora, aunque se le añaden sustancias odorizantes para facilitar su detección en caso de fuga.⁴

El suministro es continuo por redes de ductos y tuberías enterradas bajo tierra en condiciones de absoluta seguridad.

En el hogar, el gas se utiliza para cocinar alimentos, calentar agua, secar ropa y calentar los edificios y viviendas en épocas de frio.

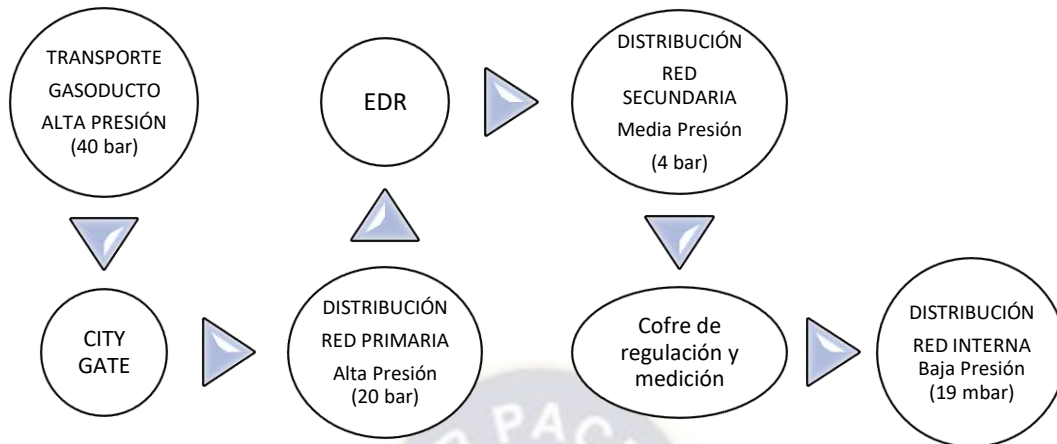
En la industria tiene infinidad de aplicaciones, como fuente de calor adicionalmente es utilizado como materia prima en diversos procesos químicos e industriales.

2.3 Regulación y distribución de gas natural

El gas natural es transportado mediante gasoductos, posteriormente pasan a un City Gate, desde el mismo es abastecido por red primaria hasta las estaciones distritales de regulación, para finalmente llegar al usuario con las características reglamentadas mediante una red secundarias y acometidas. Para su mejor comprensión se describirá los puntos de regulación y medición del gas natural.

⁴ (Wayback Machine, 2015)

Figura 2-4 Sistema de Distribución de Gas Natural.



Fuente: Elaboración propia en base a la conferencia “Instalaciones de Gas Domiciliario” de Y.P.F.B. Redes de Gas (noviembre 18, 2016).

El diagrama (ver Figura 2-4) muestra los pasos que sigue el gas natural para llegar hasta el usuario final, fue realizada en base a la conferencia “Instalaciones de Gas Domiciliario” de Y.P.F.B. Redes de Gas.

2.3.1 City Gate (Puerta de la Ciudad)

Son instalaciones destinadas a la recepción, filtrado, control de calidad del Gas Natural, regulación, medición, odorización y despacho del gas natural, a ser distribuido a través de los sistemas correspondientes. Comúnmente conocida como estación de regulación de puerta de ciudad. Regula la presión de 1400 psi a presión de distribución por Red Primaria de aproximadamente 350 psi.

En el departamento de La Paz encontramos el City Gate Janqu Qala y Senkata. También se encuentran los City Gates: Calamarca, Sica Sica y Patacamaya. Las 3 abastecen de gas natural a las respectivas poblaciones, siendo la menos demandada el City Gate de Calamarca.

Figura 2-5 City Gate Senkata.



Fuente: Fotografía tomada en el City Gate (Senkata, El Alto, 2020).

El City Gate Senkata (Figura 2-5) tiene capacidad de 30 MMPCD. Abastece GN a la ciudad de La Paz, El Alto e Industrias de Viacha a excepción de SOBOCE (Industria cementera).

Figura 2-6 Ubicación City Gate Senkata.



Fuente: Elaborado en Google Earth en base a las direcciones y coordenadas (2020).

En la zona de Senkata Distrito 8 de la ciudad de El Alto, entre la carretera a La Paz-Oruro y la avenida Juana Basilia Calahumana de Santa Cruz, cerca de la estación distrital de regulación (R-18), se encuentra ubicada el City Gate Senkata (ver Figura 2-6).

Figura 2-7 City Gate Janqu Qala.



Fuente: Fotografía tomada en el City Gate (Janqu Qala, El Alto, 2020).

El City Gate Janqu Qala (Figura 2-7) tiene una capacidad de 45000 (m³/h), es alimentado por el gasoducto al Altiplano (GAA), inicio su operación en 2013. Alimenta a la Industria Soboce, EDR 27 (Laja) y EDR's de Viacha de la Ciudad de El Alto.

Figura 2-8 Ubicación City Gate Janqu Qala.



Fuente: Elaborado en Google Earth en base a las direcciones y coordenadas (2020).

El City Gate Janqu Qala (Figura 2-8) se encuentra a las afueras de la ciudad de El Alto, a unos kilómetros de la carretera La Paz – Oruro.

2.3.2 Red Primaria

Sistema de Distribución de Gas Natural que opera a presiones mayores a 4 bar hasta 42 bar inclusive, compuesta por tuberías de acero, válvulas, accesorios y cámaras de válvulas, que conforman la matriz del Sistema de Distribución.

La red primaria debe estar bien protegida mediante sistema de protección catódica, así mismo el material tubular debe ser revestido con protección mecánica y anticorrosiva.

Este sistema de tuberías tiene la función de transportar el gas natural a presión regulada de aproximadamente 350 psi desde el City Gate hasta la Estación de Regulación.⁵

Figura 2-9 Red primaria.



Fuente: “*Instalaciones de Gas Domiciliario*”
Y.P.F.B. Redes de Gas (2016).

2.3.3 Estación Distrital de regulación

Es una instalación que está destinada a la regulación del caudal y la presión del Gas Natural, proveniente del sistema primario para suministrar gas natural a media presión al sistema secundario.

Las Estaciones Distritales de Regulación (EDR) tienen por objeto regular la presión de distribución de la red primaria y asegurar una presión de salida de valor constante (presión regulada) a la presión de distribución de la red secundaria, independientemente de las variaciones de presiones de suministro fijada por la Distribuidora y de la fluctuación de caudal requerida por la instalación, dentro de los rangos previstos de consumo.⁶

Las EDR's deberán instalarse en áreas aisladas, eligiendo su ubicación de forma que sean fácilmente accesibles.

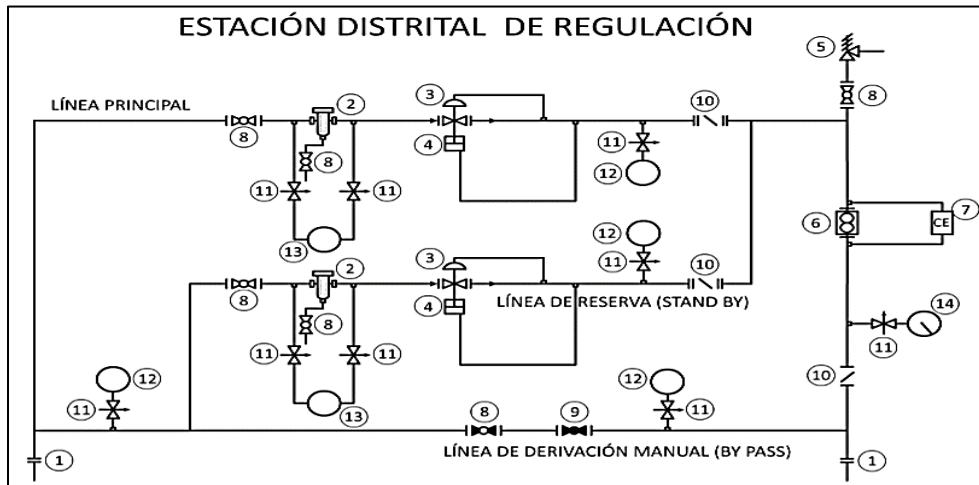
Se instalarán únicamente en superficie, al aire libre, en ambiente dedicado o en armarios cerrados, no pudiendo estar en ambientes subterráneos.

Cuando se presente posibilidad de riesgo por alto flujo vehicular debe considerarse la instalación de barreras.

⁵ (Gaceta Oficial, 2014)

⁶ (Gaceta Oficial, 2014)

Figura 2-10 Esquema típico de Estación Distrital de Regulación



Fuente: Decreto Supremo N° 1996, Anexo VII, pg.13.

Esquema típico de Estación Distrital de Regulación (ver Figura 2-10) para caudal de suministro igual o mayor a 1000 MCH. Se puede notar que existen 3 líneas de regulación del gas natural.

Tabla 2-1 Simbología del esquema de Estación Distrital de Regulación.

Ítem	Descripción	Simbología
1	Junta Aislante	
2	Filtro	
3	Regulador Pilotado	
4	Válvula de Seguridad (Shut Off)	
5	Válvula de Alivio	
6	Medidor	
7	Equipo de Corrección Electrónica	
8	Válvula Tipo Bola (Esférica)	
9	Válvula Tipo Globo (Regulación Manual)	
10	Válvula Tipo Mariposa	
11	Válvula Tipo Aguja	
12	Manómetro de Línea	
13	Manómetro Diferencial	
14	Termómetro	

Fuente: Decreto Supremo N° 1996, Anexo VII, pg.13.

La Tabla 2-1 muestra la descripción de la simbología que se ve en la Figura 2-10 en la Estación Distrital de Regulación para caudal de suministro igual o mayor a 1000 MCH.

2.3.3.1 Ubicación

1. Las EDR's sólo pueden ser superficiales y se deben instalar en sitios que cumplan con ciertas condiciones.

Según Anexo VII, Reglamento de Diseño, Construcción, Operación de Redes de Gas Natural e Instalaciones Internas, estas son las siguientes:

- a) En lugares abiertos, en ambiente no corrosivo y protegidos contra daños causados por agentes externos (por ejemplo: impactos de vehículos y objetos, derrumbes, inundación, tránsito de personas).
 - b) A una distancia libre mayor de tres metros de cualquier fuente de ignición.
 - c) Estar protegidos contra el acceso de personas no autorizadas por medio de un cerco metálico, gabinete u obra civil.
 - d) Ser accesible directamente desde la vía pública con objeto de que la distribuidora pueda realizar sus tareas de operación y mantenimiento.
2. No está permitido instalar una EDR en los lugares.

Según Anexo VII, estas son:

- a) Bajo líneas de transmisión o transformadores de energía eléctrica. Como mínimo deben estar a una distancia de tres metros de la vertical de dichas líneas; si esta distancia no se puede cumplir se debe proteger la estación.
- b) En lugares donde el gas pueda migrar al interior de edificios, por ejemplo: bajo alguna ventana de planta baja o tomas de aire de ventilación o acondicionamiento de aire o cerca de patios de ventilación en cubos de luz, de escaleras, de servicios de los edificios, como mínimo deben estar a una distancia de un metro de dichos lugares. En caso de no poder cumplir esta condición la EDR deberá contar detector de gas y alarmas adecuadas o estar instalada dentro de una caseta de mampostería.
- c) En lugares cubiertos o confinados junto con otras instalaciones.

2.3.3.2 Recintos con Cerco de Malla

Según el Anexo VII, Reglamento de Diseño, Construcción, Operación de Redes de Gas Natural e Instalaciones Internas, deben cumplir con las siguientes especificaciones y características:

- a) El predio de toda Estación Distrital de Regulación, deberá ser cerrado con malla olímpica tipo industrial, de una altura mínima de 1,80m.
- b) Los postes de sostén deberán tener su extremo superior orientado hacia afuera, apto para tres hileras de alambre de púas.
- c) El acceso al recinto dispondrá de puertas o portones adecuados, según necesidad, de altura igual o mayor a la del cerco. Según la superficie del terreno, se podrá disponer de salidas de emergencia ubicadas convenientemente y fácilmente localizables.
- d) En la zona comprendida dentro del cercado, se construirá un piso de cemento que deberá cubrir toda la superficie bajo las instalaciones más un área de circulación suficiente para la intervención de las mismas.

- e) Este cerco, si la Empresa Distribuidora así lo decide, también puede contener una EDR que cuenta con armario metálico.

Figura 2-11 Compendio de fotografías de EDR's con cerco de malla.



Fuente: Elaboración propia.

Se muestran las EDR's que se encuentran en la ciudad de El Alto, las mismas se encuentran en recintos con cerco de malla como se puede observar en la Figura 2-11.

2.3.3.3 Recintos con caseta de mampostería

Según Anexo VII, deberá construirse un cerramiento de mampostería en lugar de cerco de malla olímpica cuando ocurra al menos alguna de las siguientes situaciones:

1. Las dimensiones del predio sean tales que impidan el cumplimiento de distancias mínimas de seguridad establecidas.
2. El nivel de ruido emitido por la EDR fuera tal, que se requiera atenuarlo.
3. La EDR se sitúe en un área donde la operación y el normal funcionamiento de la misma pudiera perturbar la tranquilidad del vecindario o que su instalación pudiera afectar sensiblemente el entorno visual.
4. Este cerco, si la Empresa Distribuidora así lo decide, también puede contener un EDR que cuenta con armarios metálicos.

- Cubierta y cerramiento.

1. El recinto debe construirse en mampostería (espesor mínimo 15 cm), con cubierta incombustible y convenientemente ventilado e iluminado.
2. La cubierta será del tipo aligerado y estará formada por plancha de acero galvanizada u otro.
3. El soporte de la cubierta se realizará mediante estructura metálica.

4. Los muros de cerramientos estarán formados por material incombustible tales como ladrillos o bloques de cemento.

5. El espesor del cerramiento será de 15 cm como mínimo y será capaz de soportar y transmitir a la cimentación las acciones debidas a cubierta, así como las climáticas, viento, etc.⁷

- **Ventilación de la caseta.**

1. La ventilación del recinto se realizará mediante rejillas dispuestas en las paredes del mismo.

2. No menos del 5 % de la superficie lateral del mismo estará cubierta por dichas rejillas metálicas o celosías, convenientemente distribuidas para asegurar una normal circulación del aire.

3. El 80 % de la ventilación será realizado por la parte superior y el 20 % restante por la parte inferior. Esta última será ubicada en una zona segura.

Figura 2-12 Compendio de fotos de EDR's con caseta de mampostería.



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 2-12 muestra las fotografías de las EDR's que se encuentran en la ciudad de El Alto con su respectiva numeración, las mismas cuentan con caseta o mampostería.

2.3.3.4 Operación de las EDR's

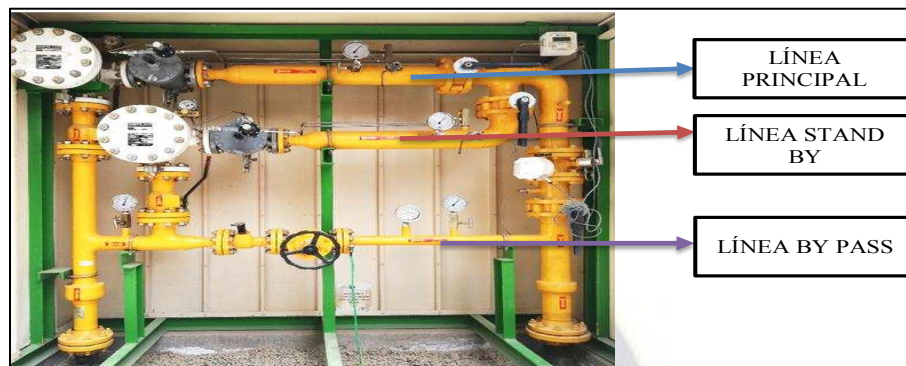
Los criterios de funcionamiento u operación son prácticamente 3, estas son:

- **Línea principal de regulación.** – Es la que está en operación constante, es la línea más usada para regular la presión de gas que viene de la red primaria para ser alimentada a la red secundaria.
- **Línea de reserva de regulación “Stand By”.** – En caso que falle o presente problemas la línea principal, entra en operación esta línea para garantizar el abastecimiento constante del energético.

⁷ (Gaceta Oficial, 2014)

- **Línea de regulación manual “By Pass”.** – en caso de que fallen o estén inoperables las anteriores líneas, entra en operación esta línea que por las características de las válvulas que tiene, son de accionamiento manual a diferencia de las anteriores.

Figura 2-13 Líneas de operación del EDR.



Fuente: Elaboración propia (Burgos Marca, El Alto, 2020)

La Figura 2-13 muestra el modelo más común de EDR, sin embargo, hay otros modelos que tienen más accesorios, pero operan bajo el mismo sistema, es decir, con 3 líneas.

Las marcas existentes dentro de las EDR's que operan en la ciudad de El Alto, son:

- Francel
- Armec
- Shangai
- Fiorentini
- Total
- Gascat

2.3.3.5 Estaciones Distritales de Regulación de El Alto

Las estaciones distritales de regulación pertenecientes a la Ciudad de El Alto, son:

Tabla 2-2 Lista de EDR's Ciudad de El Alto.

EDR	Dirección	Marca EDR	Capacidad (m³/h)
R-1	Ciudad Satélite (Av. "A" y C/2)	Francel	2000
R-2	Tejada Rectangular Av. Cívica y C/9	Francel	2000
R-3	Infocal (Villa Bolívar "A" Av. Km 7 y Calle 2)	Francel	2000
R-4	1ro de Mayo (Av. Cochabamba Colegio Jesús Obrero)	Francel	2000
R-5	El Kenko (Pucarani Av. Ebitamiento)	Armec	2000
R-6	Forno (Villa Bolívar Calle 2 y Cancha Forno)	Shangai Fiorentini	1000
R-7	V. Esperanza (Av. Arzabe y Av. Guiteras UPEA)	Total	1000
R-8	Villa Ingenio (Av. Juan José Torrez y C/Carmen)	Gascat	2000
R-9	Burgos Marca (Z/7 de Sep. C/31 de Oct.)	Armec	2000
R-10	Cosmos 79 (Av. 2 de Febrero)	Shangai Fiorentini	1000
R-11	Villa Tunari (C/Bautista y C/Punata)	Shangai Fiorentini	1000
R-12	Rio Seco (Av. 23 Marzo Camino a Laja)	Francel	5000
R-13	Av. Chacaltaya (Alto lima 1ra Secc.)	Shangai Fiorentini	1000
R-14	Tokio (German Bush Oeste)	Shangai Fiorentini	1000
R-15	Rocallado (C/Panamá)	Armec	2000
R-16	Plaza German Bush (Alto Lima 1ra Secc.)	Shangai Fiorentini	1000
R-17	Bautista Saavedra (C/pedro Blanco)	Shangai Fiorentini	1000
R-18	Litoral (Av. Melchor Urquidi- CG SENKATA)	Shangai Fiorentini	1000
R-19	Jacha Tupo (Villa Mercedes UV "F")	Total	2000

EDR	Dirección	Marca EDR	Capacidad (m3/h)
R-20	San Roque (Z/21 de Octubre "B")	Total	2000
R-21	Ventilla (C/Los Andes y Pando Z/ Modelo)	Total	5000
R-22	San Felipe de Seke (Av. Holanda)	Total	2000
R-28	Alto Chijini (Normal El Alto)	Total	2000
R-32	Villa Cooperativa (Urb. Palestina C/Primavera)	Total	2000

Fuente: Elaboración propia en base a información obtenida de Y.P.F.B. Redes de Gas.

La Tabla 2-2, muestra la lista de las estaciones distritales que pertenecen a la ciudad de El Alto, la dirección de cada una, también se detalla la marca de la EDR y la capacidad en metros cúbicos hora de cada una.

2.3.3.6 Mantenimiento de Estaciones Distritales de Regulación

Inspección visual. – Se realiza cada mes, consiste en verificar visualmente el estado del recinto, casetas, tuberías, accesorios, equipos, sistema de electricidad e instrumentación, buscando anomalías de funcionamiento y daños.

Control operativo I.- Se realiza de forma bimestral, consiste en comprobar el control operativo de los sistemas de las EDR's realizando la verificación de las siguientes actividades: operatividad de puertas y accesos, nivel de aceite del medidor, purgado de los filtros de la línea principal y línea stand by de regulación, estado de manómetros y termómetros, estado de luminarias e inyección del odorizador.

Reconocimiento de pérdidas. – Se realiza de forma bimestral, consiste en realizar la detección de pérdidas (fugas de gas natural) en todas las uniones bridadas y roscadas de las EDR's, utilizando el equipo detector de fugas de gas natural, para luego ser localizada y clasificada tomando las acciones consecuentes para su reparación, en función, a su riesgo potencial.

Control operativo II.- Se realiza de forma semestral, consiste en verificar el control operativo de los sistemas y subsistemas de los EDR's realizando la comprobación de las siguientes actividades: operatividad de las válvulas manuales, limpieza de los filtros de la línea principal y la línea stand by; el funcionamiento del computador o corrector de flujo, la resistividad del aterramiento de los EDR's, así como el pararrayos.

2.3.4 Red secundaria

Cumple la función de distribuir el Gas Natural a la presión regulada de 60 Psi (4 bar) desde la EDR hasta los Gabinetes de Regulación Domésticos y Comerciales.⁸

El material de la tubería debe cumplir con especificaciones técnicas rigurosas de acuerdo a normativas internacionales para brindar la seguridad respectiva durante su vida útil.

⁸ (Gaceta Oficial, 2014)

Figura 2-14 Red secundaria.



Fuente: “Instalaciones de Gas Domiciliario” de Y.P.F.B. Redes de Gas (2016).

2.3.5 Instalaciones Internas y Acometidas

La instalación interna es un conjunto de tuberías por lo general de Acero Galvanizado unido mediante accesorios de A.G. roscadas o soldadas que distribuyen el Gas Natural regulado a 19 mbar o 140 mbar hasta los aparatos como ser cocina, calefón, termotanque, hornos, entre otros. La tubería debe ser protegida con una pintura anticorrosiva y/o protección mecánica si se requiere.

Figura 2-15 Instalación interna y gabinete de medición.



Fuente: “Instalaciones de Gas Domiciliario” de Y.P.F.B. Redes de Gas (2016).

El ***gabinete de medición*** está compuesto por válvula de corte, regulador, medidor y accesorios. El regulador cumple la función de regular la presión de ingreso a la instalación interna de 4 bar a 19 mbar o 140 mbar dependiendo del tipo de instalación interna, sea esta doméstica o comercial.⁹

Figura 2-16 Gabinete de medición.

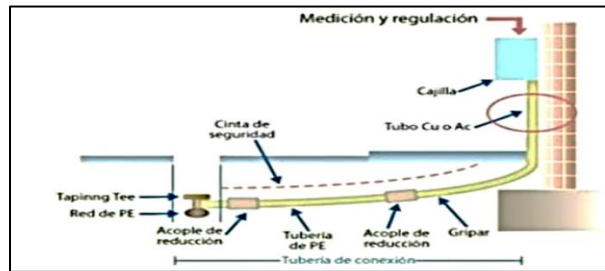


Fuente: “Instalaciones de Gas Domiciliario” de Y.P.F.B. Redes de Gas (2016).

La ***acometida*** es un tramo de tubería de diámetro de 20 mm o 32 mm que cumple la función de distribuir el gas natural desde la red secundaria hasta el gabinete.

⁹ “Instalaciones de Gas Domiciliario” de Y.P.F.B. Redes de Gas (noviembre 18, 2016).

Figura 2-17 Acometida.



Fuente: "Instalaciones de Gas Domiciliario" de Y.P.F.B. Redes de Gas (2016).

2.4 Técnicas existentes en ensayos no destructivos

Los métodos de ensayo no destructivo se utilizan en la industria para evaluar la integridad y las propiedades de materiales o componentes sin dañar el objeto que se esté investigando. Además de la radiografía industrial, cuatro de los métodos más comunes son: la radiografía por ultrasonido, las inspecciones por líquidos penetrantes, las inspecciones por partículas magnéticas y las inspecciones por corrientes inducidas.

Los ensayos no destructivos son un instrumento fundamental para el control de la calidad, la seguridad y la fiabilidad.¹⁰

2.4.1 Clasificación de las pruebas no destructivas

En la actualidad hay una variedad de ensayos no destructivos, y con el paso del tiempo se han desarrollado nuevas formas de detectar discontinuidades. Citaremos las siguientes:

2.4.1.1 Pruebas no destructivas superficiales

Este tipo de pruebas nos permiten encontrar discontinuidades expuestas en la superficie del material de prueba, entre ellas encontramos a la Inspección visual, Partículas magnéticas, Líquidos penetrantes y Electromagnetismo.

2.4.1.2 Pruebas no destructivas volumétricas

Este tipo de pruebas nos proporcionan información de la integridad interna de los materiales inspeccionados, se consideran a la Radiografía, Ultrasonido industrial, Emisión acústica y Radiografiado con neutrones.

2.4.1.3 Pruebas no destructivas de hermeticidad

Para los recipientes o elementos sometidos a presión, encontramos los de tipo pruebas que nos proporcionan datos sobre su integridad, los distintos tipos existentes son: Prueba Neumática, Prueba Hidrostática, Prueba de burbuja, Prueba de fuga, Prueba de espectrómetro de masas.

2.4.2 Inspección Visual

¹⁰ (Ensayos no destructivos | OIEA, 2018)

Este método fue el primero dentro de las Pruebas no Destructivas empleado por el hombre. En la actualidad, la inspección visual se encuentra entre los principales procedimientos de inspección para detectar y evaluar discontinuidades. Desde sus orígenes, se ha desarrollado una variedad de técnicas difíciles y complejas, además de realizar variadas investigaciones de óptica.¹¹

Entre sus ventajas están:

- Permite observar salpicaduras, existencia de cenizas, distorsiones por excesivo calentamiento, grietas, entre otros.
- Es adecuada para todos los materiales.

Figura 2-18 Inspección visual.



Fuente: Extraída de la página web END Perú S.A.C. (2015)

2.4.3 Líquidos Penetrantes

Un antecedente que se tiene de esta inspección, durante la Revolución Industrial en la Europa del siglo XIX, es la detección de grietas superficiales en ruedas y ejes de ferrocarril. Se dice que en las practicas antiguas de inspección, las piezas eran sumergidas en aceite, posteriormente se limpiaban y se esparcían con un polvo (una mezcla de talco y alcohol). Cuando una grieta estaba presente, el aceite que se había filtrado en la discontinuidad, mojaba el polvo que se había esparcido, indicando que el componente estaba dañado. Esto condujo a formular nuevos aceites que serían utilizados específicamente para realizar estas y otras inspecciones; esta técnica de inspección ahora se llama prueba por líquidos penetrantes.¹²

Los líquidos usados para esta técnica han ido desarrollándose, han sido mejorados con la adición de tintes fluorescentes o visibles, para lograr un contraste con el color de las piezas inspeccionadas y poder identificar mejor alguna discontinuidad presente. Además, han sido tratadas para que no reaccionen químicamente con la superficie de las piezas de inspección, así como mejorar las propiedades de humedad, viscosidad, cohesión, adhesión, entre otras.

¹¹ (Inspección Visual (VT) - ipunto ensayos, 2017)

¹² (SCI Servicios de Control e Inspección S.A., 2015)

La aplicación de esta técnica es relativamente sencilla, aunque se deben considerar varios factores en la elección de tipos de materiales penetrantes. Además, existen pasos importantes que se deben seguir para asegurar una correcta aplicación de los líquidos penetrantes.

Figura 2-19 Líquidos penetrantes.



Fuente: Extraída de la página web SERKI (2015)

2.4.4 Partículas Magnéticas

En 1920 William E. Hoke descubrió que un tipo de partículas magnéticas (limadura de metal) se podría utilizar junto con el magnetismo como un medio de localización de discontinuidades. Hoke comprobó que una discontinuidad superficial o subsuperficial presente en un material previamente magnetizado provocaba que el campo magnético se distorsionaba. El fenómeno fue descubierto mientras se observaba que la limadura de metal resultante del maquinado de tornos se concentraba en las discontinuidades que se presentaban los controles magnetizados.¹³

Las técnicas de magnetización son variadas dependiendo de la configuración física de la pieza de prueba. Por ejemplo, para barras solidas se puede utilizar la magnetización entre cabezales en la cual dos placas de contacto introducen una corriente en la pieza, lo cual induce un campo magnético a su alrededor.

Entre sus ventajas podemos citar:

- Es una inspección rápida y de bajo costo.
- Se utiliza un equipo simple.
- No se requiere lecturas electrónicas o calibraciones.

Entre sus desventajas están:

- Se utiliza solamente materiales ferromagnéticos.
- Se necesita suministro de energía eléctrica.
- La rugosidad de la superficie es perjudicial a la prueba pues altera el campo magnético.

¹³ (Partículas Magnéticas | Aceros Levinson, 2019)

Figura 2-20 Partículas magnéticas.



Fuente: Extraída de la página web SERKI (2015)

2.4.5 Corrientes Electromagnéticas

Tiene sus orígenes en el descubrimiento de la inducción electromagnética por Michael Faraday en el año 1831. En 1879 el físico inglés David Edward Hughes demostró que existían cambios en las propiedades de una bobina cuando entraba en contacto con metales de diferente conductividad y permeabilidad. Estas propiedades fueron aprovechadas hasta la Segunda Guerra Mundial en la inspección de componentes. Este método de inspección se utiliza para detectar discontinuidades superficiales y subsuperficiales, medir espesores de material, clasificación de materiales.¹⁴

El principio con el que funciona es la inducción electromagnética, por tanto, es un requisito que la pieza a inspeccionar sea un conductor.

Cuando una corriente alterna se aplica a un conductor, como un cable de cobre, se crea un campo magnético alrededor del conductor. Cuando se acerca otro conductor al primero, el campo magnético creado induce una corriente dentro del segundo conductor, misma que se conoce como corriente de Eddy. Esta corriente crea su propio campo magnético. Cuando existe alguna discontinuidad en el material, esta interrumpe el campo magnético creado por corrientes de Eddy.¹⁵

Figura 2-21 Corrientes electromagnéticas.



Fuente: Extraída de la página web SERKI (2015)

¹⁴ (¿Qué es el electromagnetismo? Fuerza electromagnética, 2021)

¹⁵ (Corrientes electromagnéticas y su influencia sobre el cuerpo, 2014)

2.4.6 Radiografiado Industrial

En 1895 el profesor Wilhelm Conrad Roentgen descubrió la presencia de un tipo de radiación, desconocida hasta entonces, cuando realizaba trabajos de investigación con un tubo de rayos catódicos. Por su naturaleza desconocida llamo a este tipo de radiación (rayos X). Esta técnica tuvo una rápida aplicación en el sector médico, y es en este campo en el cual se ha desarrollado de forma más notable. La razón por la cual no se había aplicado esta técnica en la industria, ya que aún no se había logrado construir un tubo que operara con altos voltajes.¹⁶

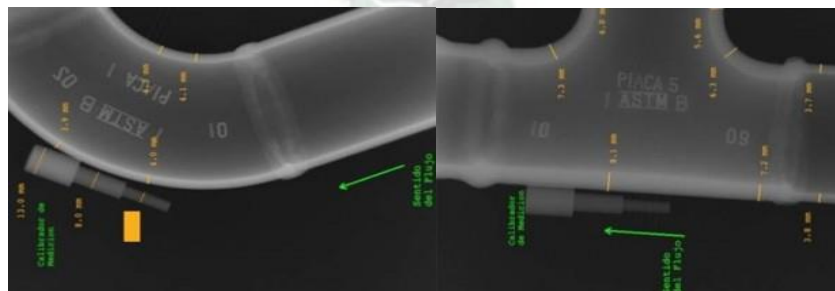
En 1913 William David Coolidge contribuyo al desarrollo de la Radiografía Industrial, con el diseño de un tubo de alto vacío que permita operar con voltajes superiores a 10000 volts. La radiografía industrial es utilizada para la detección de discontinuidades en la estructura interna de los materiales. El fenómeno en el que está basada es la interacción entre la radiación electromagnética y la materia.¹⁷

Esta técnica es una de las más usadas y confiables debido a que tiene las siguientes ventajas:

- Puede ser aplicada en varios materiales.
- Se obtiene una imagen del interior del material.
- Se tiene un registro permanente de inspección.
- Nos ayuda a realizar evaluaciones del tipo de falla y su posible rechazo.

Sin embargo, también tiene desventajas que afectan directamente la integridad del usuario, debido a la sobre exposición tendría efectos nocivos para la salud del personal.

Figura 2-22 Radiografiado industrial.



Fuente: Extraída de la página web AP Inspec Ingeniería LTDA. (2020).

2.4.7 Ultrasonido Industrial

Antes de la Segunda Guerra Mundial, la técnica de enviar ondas acústicas a través de agua y de observar el retorno de los ecos para identificar los objetos sumergidos, inspiró a los

¹⁶ (Martínez, 2014)

¹⁷ (Radiografía Industrial, 2020)

investigadores del ultrasonido para explorar maneras de aplicar el concepto a los diagnósticos médicos.

En 1928 el científico soviético de nombre Sergei Y. Solokov presento una técnica de transmisión de ondas ultrasónicas a través del material, para la detección de discontinuidades en los metales. Mulhauser, en 1931, obtuvo una patente para utilizar ondas ultrasónicas, usando dos transductores para detectar defectos en sólidos.

Los equipos detectores de fallas fueron originalmente desarrollados, basándose en el principio de la intercepción de la energía ultrasónica por discontinuidades grandes, durante el paso del haz ultrasónico. Posteriormente, esta técnica recibió el nombre de inspección a través. Este sistema de inspección presentaba ciertas limitaciones, principalmente, la necesidad del acceso en ambas superficies de la pieza inspeccionada para colocar un transductor en cada superficie.

No se encontró un método practico de inspección hasta que el Dr. Floyd Firestone (1940) y Simons (1945) desarrollan la prueba ultrasónica pulsada, usando una técnica de pulso-eco. Inventaron un aparato empleado de ondas ultrasónicas pulsadas para obtener reflexiones de defectos pequeños, conocidos como "Reflectoscopio Supersónico". En el mismo periodo en Inglaterra, Sproule desarrollo equipos de inspección ultrasónica en forma independiente. Poco después del término de la Segunda Guerra Mundial, los investigadores en Japón comenzaron a explorar las capacidades del diagnóstico médico del ultrasonido.

El trabajo de Japón en ultrasonido era relativamente desconocido en los Estados Unidos y Europa hasta los años 50's. los investigadores entonces presentaron sus resultados en el uso del ultrasonido para detectar los cálculos biliares, las masas del pecho y los tumores, a la comunidad médica internacional. Japón fue también el primer país en aplicar el ultrasonido de Doppler, un uso del ultrasonido que detecta objetos móviles internos tales como sangre que circula a través del corazón para la investigación cardiovascular.

El desarrollo de la Inspección Ultrasónica en la industria creció de manera muy rápido por los requerimientos. Al principio el propósito principal era la detección de discontinuidades en un material. La detección de tales discontinuidades, eran una causa para el retiro del componente en servicio. ¹⁸

A principios de los años 70's, ocurrieron dos acontecimientos que provocaron un cambio importante en el campo de las PND. Primero, las mejoras en la tecnología aumentaron la capacidad de detectar discontinuidades pequeñas, lo cual hizo que más piezas fueran rechazadas aun cuando la probabilidad de falla del componente no había cambiado. Sin

¹⁸ (Guillermo Minchola, Ultrasonido Industrial)

embargo, surgió la disciplina de la mecánica de fractura, lo cual permitió predecir si una grieta de tamaño dado fallaría bajo alguna carga particular, cuando se conocen las características de un material.

Otras leyes fueron desarrolladas para predecir el índice de crecimiento de grietas bajo carga cíclica (fatiga). Con el advenimiento de estas herramientas, llegó a ser posible aceptar las estructuras que contenían las discontinuidades, si los tamaños de estas se conocían. Esto formó la base para la nueva filosofía del diseño “tolerante de daños”. Los componentes que tenían discontinuidades conocidas podrían continuar en servicio mientras se establecía que esas discontinuidades no crecerían a un tamaño crítico, produciendo la falla.¹⁹

La calibración de espesores es un ejemplo del uso donde los instrumentos se han refinado; realizan la recopilación de datos más fácilmente y de mejor manera. Las capacidades incorporadas del registro de datos permiten que los millares de medidas sean registrados y eliminan la necesidad de hacer un registro manual. Algunos instrumentos tienen la capacidad para capturar formas de onda, así como lecturas de espesor.

Figura 2-23 Ultrasonido industrial.



Fuente: Extraída de la página web SERKI (2015)

¹⁹ (Guillermo Minchola, Ultrasonido Industrial)

CAPÍTULO III

3. FUNDAMENTO FÍSICO, DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA ULTRASONIDO Y PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN

La medición ultrasónica se utiliza para determinar el espesor real de tuberías, placas, piezas de fundición, etc. y compararlo con el espesor original para determinar si dicho material, aún está en condiciones de trabajar en forma eficiente y segura, o si soportará la presión de los fluidos que va a conducir o contener. Se hace mediante la técnica pulso-eco de contacto directo utilizando transductores de diferentes frecuencias según corresponda.

El principio de la medición de espesores por ultrasonido es el mismo que el de las ondas ópticas. La sonda envía impulsos al objeto a medir, se propagan allí y se reflejan en la superficie límite. La determinación del espesor del objeto es el resultado de la medición exacta del tiempo que necesita la onda de ultrasonido en atravesar el objeto a medir.

3.1 Principios básicos

Para la inspección por ultrasonido se utiliza la energía del sonido de alta frecuencia para detectar discontinuidades internas en los materiales y hacer mediciones del espesor del material. También puede ser utilizada para la evaluación de discontinuidades, mediciones dimensionales, clasificación de materiales y más. Las ondas ultrasónicas son vibraciones mecánicas transmitidas, en un medio elástico (la pieza inspeccionada), por medio de un transductor con un cristal piezométrico excitado por un voltaje eléctrico.

Todas las sustancias materiales están formadas por átomos que pueden ser forzadas en el movimiento vibratorio a nivel atómico, sin embargo, la mayoría de ellos son irrelevantes para la prueba ultrasónica. La acústica se centra en las partículas que contienen muchos átomos que mueven en unisonó al producto por medio de una onda mecánica. Cuando un material no se tensa o se comprime más allá de su límite elástico, sus partículas individuales realizan oscilaciones elásticas.²⁰

Cuando las partículas de un medio se desplazan de sus posiciones de equilibrio, se presentan fuerzas (electrostáticas) internas de restauración. Estas fuerzas de restauración elásticas entre las partículas, combinadas con la inercia de las partículas, conducen a los movimientos del medio.

En los sólidos, las ondas acústicas pueden propagarse en cuatro principales formas, basadas en la manera en que oscilan las partículas. El sonido se puede propagar como ondas longitudinales, ondas superficiales y en materiales delgados como ondas laminares. Las ondas longitudinales y transversales son los dos modos de propagación más

²⁰ (García, 2017)

ampliamente utilizados en la prueba ultrasónica. Las frecuencias típicas de las ondas ultrasónicas están en el rango de 0.1 MHz a 50 MHz. La mayoría de las aplicaciones industriales requieren frecuencias entre 0.5 y 25 MHz.

Dentro de los elementos que constituyen este modelo básico encontramos por ejemplo al emisor/receptor que es un dispositivo electrónico que puede producir pulsos eléctricos de alto voltaje, excitado por el pulso eléctrico.

El transductor genera energía ultrasónica de alta frecuencia. La energía ultrasónica es introducida y propagada a través de los materiales en forma de ondas. Cuando existe una discontinuidad (como ser una grieta) en la trayectoria de la onda, parte de la energía será reflejada. La señal reflejada de la onda es transformada en una señal eléctrica por el transductor y mostrada en una pantalla.²¹

En la pantalla, la fuerza reflejada de la señal se grafica contra el tiempo desde la generación de la señal hasta que el eco fue recibido. El tiempo del recorrido de la señal se puede relacionar directamente con la distancia a la que viajó la señal. Se pueden obtener de la señal, la información sobre la localización del reflector, el tamaño, la orientación y otras características.

Existen cinco elementos que conforman un Sistema de Inspección Ultrasónica, estos son:

- **Equipo ultrasónico.** Es importante mencionar que todos los equipos de ultrasonido solo emiten y reciben pulsos eléctricos, que son graficados en la pantalla del equipo.

Figura 3-1 Equipo ultrasónico (DM5E).



Fuente: Extraída del Anexo A del procedimiento PP-2-DOM/UEST-13-A de Y.P.F.B.

- **Conductor de señal eléctrica.** El cable coaxial permite la comunicación entre el transductor y el equipo emisor/receptor de señales eléctricas.
- **Transductor.** Es un accesorio que contiene un cristal con propiedades piezoeléctricas, es decir, puede transformar energía eléctrica en energía mecánica y viceversa.

²¹ (García, 2017)

Figura 3-2 Transductor.



Fuente: Extraída del Anexo A del procedimiento PP-2-DOM/UEST-13-A de Y.P.F.B.

- **Gel acoplante.** Es un medio que permite el paso de las ondas ultrasónicas entre el transductor y la pieza de prueba. Su función principal es la de eliminar el aire en esta interface.

Figura 3-3 Gel acoplante.



Fuente: Extraída de la página web de Olympus (2017)

- **Pieza inspeccionada.** La dificultad en una inspección por ultrasonido depende de la resistencia que oponga la pieza al paso de las ondas ultrasónicas.

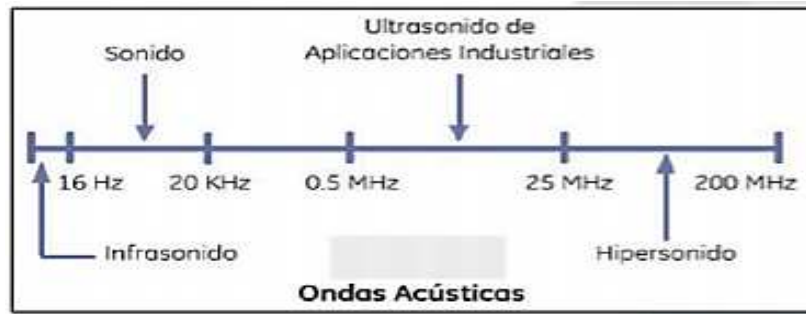
3.2 Física del ultrasonido

Una onda es una perturbación que avanza o que se propaga en un medio natural o incluso en el vacío. A pesar de la naturaleza diversa de las perturbaciones que pueden originarlas, todas las ondas tienen un comportamiento semejante. El sonido es un tipo de onda que se propaga únicamente en presencia de un medio que haga de soporte la perturbación.

Algunas clases de ondas pueden propagarse gracias a la existencia de un medio material, y se denominan ondas mecánicas. El sonido, las ondas que se forman en la superficie del agua, las ondas en muelles o en cuerdas, son algunos ejemplos de ondas mecánicas y corresponden a compresiones, deformaciones y, en general, a perturbaciones del medio que se propagan a través suyo. Sin embargo, existen ondas que pueden propagarse aun en ausencia de medio material, es decir, en el vacío. Son las ondas electromagnéticas o campos electromagnéticos viajeros; a esta categoría pertenecen las ondas luminosas.

El sonido y el Ultrasonido son ondas acústicas de la misma naturaleza, lo único que la diferencia es el número de oscilaciones o vibraciones que sufren las partículas del medio durante su propagación. Las aplicaciones industriales utilizan comúnmente frecuencias desde 0.5 hasta 25 MHz (millones de ciclos por segundo), en la siguiente figura se muestra el espectro del sonido.²²

Figura 3-4 Espectro del sonido.



Fuente: Guillermo Minchola, Ultrasonido Industrial.

La Figura 3-4, muestra las diferentes frecuencias dentro de las aplicaciones industriales. Existen ciertas características que son comunes a todas las ondas, cualquiera que sea su naturaleza, y que en conjunto definen el llamado comportamiento ondulatorio, esto es, una serie de fenómenos típicos que diferencian dicho comportamiento propio de las partículas. Un ciclo representa el movimiento complejo de una onda. Cuando una partícula de la onda regresa a su posición original, se dice que ha completado un ciclo. Por otro lado, la longitud de onda es la distancia entre dos puntos que oscilan en la misma fase y que se requiere para completar un ciclo. Por ejemplo, la distancia entre dos crestas o entre dos valles de onda. Esta propiedad es identificada por la letra griega “ λ ”. Al número de ciclos que ocurren en la unidad de tiempo, (por lo general el segundo), se denomina frecuencia “ f ”. La unidad de medida para la frecuencia son los ciclos por segundo o Hertz (1 Hz=ciclo/segundo). Una propiedad de los materiales, que es una característica propia de cada uno, es la velocidad de propagación de las ondas ultrasónicas a través de ellos. La singularidad de este valor se debe a que está en función del mundo de elasticidad y la densidad del material. Se identifican con las letras “ v ” o “ c ”. Estas tres características son ampliamente utilizadas en la inspección por ultrasonido, ya que determinan el tipo de transductor que se va a ocupar, la calibración del equipo, y el tamaño mínimo de discontinuidad que se podrá encontrar.

²² (Guillermo Minchola, Ultrasonido Industrial)

Matemáticamente exista una ecuación que relaciona estas tres características, y es la siguiente:

$$\lambda = \frac{V}{F} \quad (3-1)$$

Donde:

λ = Longitud de onda

V = Velocidad de propagación

F = Frecuencia

3.2.1 Consideración de la Longitud de Onda en la Detección de Discontinuidades

Uno de los propósitos de la inspección ultrasónica es la detección de discontinuidades, razón por la cual el inspector debe tomar una decisión en cuanto al tipo de transductor que deberá emplear. Existe una cantidad extensa de variables que se deben considerar en la elección de un transductor, para una aplicación de particular. La longitud de la onda emitida por un tipo de transductor, puede ser la primera variable a estudiar, debido a que la teoría señala que una discontinuidad deberá tener un tamaño de $(\lambda/2)$ para poder ser localizada. En la práctica se considera el tamaño de λ completo.

3.2.2 Propagación de Ondas Mecánicas

La prueba de ultrasonido está basada en el tiempo que tarda una onda ultrasónica en recorrer el espesor de un material, misma que es graficada contra la cantidad de energía que se perdió durante el recorrido. Todos los materiales que conocemos, están constituidos por pequeñas partículas elementales, llamadas átomos, los cuales pueden propagar una onda mecánica siempre que se fuerce a vibrar dentro de sus límites de equilibrio. Las fuerzas de restauración elástica de las partículas combinadas con la inercia de las mismas partículas permiten esta propagación.

Existen diferentes modos de vibración a nivel atómico, sin embargo, no todos son relevantes para la inspección ultrasónica.

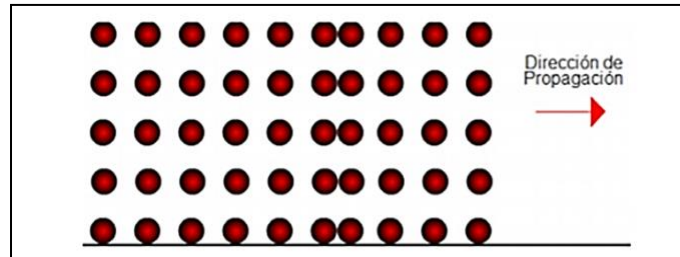
En los materiales sólidos existen cuatro modos principales de propagación, que son: ondas longitudinales, ondas transversales, ondas superficiales, y ondas de placa. Para este caso solo se estudiará el caso de las ondas longitudinales y transversales, ya que son los dos tipos de propagación comúnmente utilizados en las aplicaciones industriales.²³

Ondas longitudinales. - También conocidas como ondas de compresión, debido a que su propagación ocurre de manera paralela respecto la dirección de propagación de la onda. Esto provoca que en los átomos se encuentren zonas con mayor densidad que fluctúan

²³ (Guillermo Minchola, Ultrasonido Industrial)

durante el movimiento. Este tipo de onda se puede propagar a través de sólidos, líquidos y gases. Cuando se utilizan, en la inspección ultrasónica las ondas longitudinales, se recurre a transductores de haz recto, en la siguiente figura se muestra la forma de propagación de las ondas longitudinales.

Figura 3-5 Propagación de ondas longitudinales.

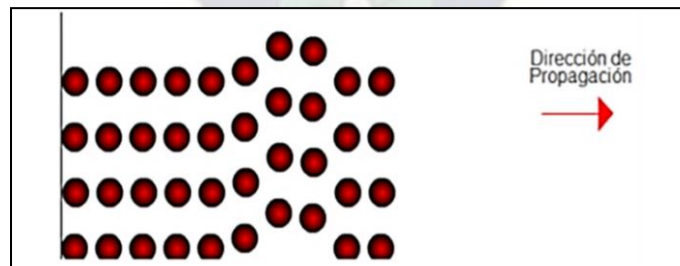


Fuente: Guillermo Minchola, Ultrasonido Industrial.

Ondas Transversales. - A este tipo de ondas se les llama también ondas de corte, y se caracterizan porque el movimiento de las partículas es en forma perpendicular a la dirección de propagación de onda. En las inspecciones por ultrasonido se utiliza un accesorio que permite inclinar el transductor, conocido como zapata, y a este tipo de aplicaciones se les denomina como aplicaciones haz angular.

Otra característica importante de este tipo de ondas es que su velocidad de propagación es aproximadamente la mitad de la velocidad con ondas transversales, para un mismo material.²⁴

Figura 3-6 Propagación de ondas transversales.



Fuente: Guillermo Minchola, Ultrasonido Industrial.

Las ondas acústicas se propagan debido a las vibraciones o a los movimientos oscilatorios de las partículas dentro de un material. Una onda Ultrasónica se puede visualizar como número infinito de masas o de partículas oscilantes conectadas por medio de resortes elásticos.

Cada partícula individual es influenciada por el movimiento de su vecino más cercano y las fuerzas elásticas de restauración e inercia actúan sobre cada partícula.

²⁴ (Guillermo Minchola, Ultrasonido Industrial)

3.2.3 La velocidad del sonido

La ley de Hooke, cuando se utiliza junto con la segunda ley de Newton, puede explicar algunas cosas sobre la velocidad del sonido. La velocidad del sonido dentro de un material está en función de las características del material y es independiente de la amplitud de la onda acústica.

En ultrasonido podemos definir que la velocidad es un valor constante para cada material; depende de las propiedades del medio (densidad y propiedades elásticas) en que se propague y del tipo de onda.

Es afectada por el proceso de fabricación (tipo de estructura) y por la temperatura. En la siguiente tabla se muestra la velocidad acústica de materiales según las ondas de propagación.

Tabla 3-1 Velocidades e impedancias acústicas.

<i>Material</i>	<i>Ondas longitudinales</i>	<i>Ondas Transversales</i>	<i>Impedancia acústica</i>
	<i>km/seg</i>	<i>km/seg</i>	
Aire	3,3	-	0,0004
Aluminio	6,3	3,1	17
Berilio	12,9	8,9	23
Cadmio	2,8	1,5	24
Cobre	4,7	2,3	41,6
Glicerina	1,9	-	2,42
Oro	3,2	1,2	62,6
Hielo	4	2	3,5
Plexiglass	2,7	1,1	3,1
Polietileno	1,9	0,5	1,7
Cuarzo	5,8	2,2	15,2
Plata	3,6	1,6	38
Acaro de carbón	5,9	3,2	46
Titanio	6,1	3,1	27,3
Zinc	4,2	2,4	29,6

Fuente: Tabla de velocidades Krautramer Ultrasonic Systems (2001)

3.2.4 Impedancia acústica.

El sonido viaja a través de los materiales bajo influencia de las fuerzas de compresión. Esto debido a que las moléculas o los átomos de un sólido están limitados elásticamente uno a otro, el exceso de presión da lugar a una onda que se propaga a través del sólido.²⁵

La impedancia acústica (Z) es la resistencia que opone un material a la propagación del sonido y está definida como el producto de su densidad (ρ) y la velocidad acústica (V).

²⁵ (Villanueva, 2011)

$$Z = \rho * V \quad (3-2)$$

La impedancia acústica es importante en:

- La determinación de la transmisión y la reflexión acústicas en el límite de dos materiales que tienen diversas impedancias acústicas.
- El diseño de transductores ultrasónicos.
- La determinación de la absorción del sonido en un medio.

3.3 Equipos ultrasónicos

En esencia los equipos ultrasónicos cumplen la función de generar y recibir señales eléctricas, mismas que son medidas e interpretadas con ayuda de distintos accesorios que proporcionan algunos modelos diversos. Básicamente en el mercado existen detectores de fallas y medidores de espesores, con diferentes presentaciones y funciones que facilitan el trabajo de interpretación del inspector, sin embargo, todos los equipos cuentan con las mismas funciones básicas, para configurar los parámetros más importantes de la inspección como son la frecuencia, el rango, entre otros.

Los instrumentos ultrasónicos son equipos de comparación contra un estándar de referencia, por lo tanto, un instrumento ultrasónico se debe calibrar antes de ser utilizado. Entonces, podemos decir que la calibración es el proceso de ajustar el instrumento utilizando un estándar de referencia.²⁶

La mayoría de los instrumentos ultrasónicos considerados para utilizarse en la industria, son unidades que operan por la técnica pulso-eco con presentación tipo "A" los cuales, incluyen una gran variedad de configuraciones que difieren en cuanto al grado de complejidad, portabilidad, tipo de pantalla, capacidad de almacenamiento de datos en la memoria integrada, etc.

3.3.1 Medidores de espesores

Este tipo de instrumentos están diseñados, específicamente, para determinar las dimensiones del espesor de algún material y determinar si existe algún desgaste debido a la corrosión producida por la reacción entre el fluido contenido y las paredes internas del elemento de inspección.

Los programas que controlan estos dispositivos, realizan una compensación automática del viaje de onda ultrasónica, debido a la configuración de los transductores duales, que son construidos con una ligera inclinación de los cristales para provocar una focalización que le proporciona la sensibilidad necesaria a la inspección. A causa de esta inclinación, el viaje

²⁶ (García, 2017)

de la onda resulta ser mayor, y el cálculo final del recorrido del viaje depende de la eficiencia del instrumento para realizar la compensación.

Dentro de la variedad de medidores de espesores existentes, se pueden encontrar modelos básicos que proporcionan únicamente valores numéricos del espesor sin embargo aún el modelo más austero cuenta con funciones para modificar la velocidad de propagación en el material, así como el retardó del palpador, para poder ejecutar una calibración en distancia del instrumento. La siguiente figura muestra un equipo básico medidor de espesores.

Figura 3-7 Equipo ultrasónico medidor de espesores.



Fuente: Extraída de la página web Ultrasonic Measurement Thickness. (2017).

Hay otros tipos de equipos ultrasónicos que contienen funciones extras, pueden complementar a un medidor de espesores, para su utilización en aplicaciones específicas como puede ser la medición o discriminación de algún recubrimiento de pinturas u otro tipo de material aislante de la temperatura. En algunas ocasiones dichas funciones son actividades con la adaptación de transductores especiales, fabricados en configuraciones particulares para una aplicación.

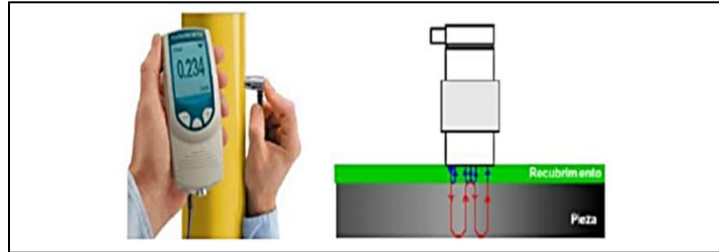
Por ejemplo, la discriminación de recubrimientos se lleva a cabo por medio de una función llamada Dual-Mult (aunque puede conocerse con otro nombre según el fabricante). En este método un pulso ultrasónico se trasmite desde el transductor (elemento activo) del palpador al material inspeccionado, sin embargo, en este método de medición con eco múltiple, una parte de la energía del pulso ultrasónico se refleja en la interface entre el recubrimiento (capa de pintura) y el material inspeccionado. El resto de la energía del pulso transmitido continua su viaje a través del material inspeccionado y regresa como eco de pared posterior.²⁷

El tiempo de vuelo entre dos ecos sucesivos de pared posterior se utiliza junto con la velocidad del ultrasonido en el material, para determinar el espesor del material. Los ecos procedentes del recubrimiento son ignorados. El principio de funcionamiento del modo de

²⁷ (García, 2017)

medición con eco múltiple, utilizando un palpador de elemento sencillo (emisor-receptor), se muestra en la siguiente figura.

Figura 3-8 Equipo ultrasónico medidor de espesores sin estimación de recubrimiento.



Fuente: Extraída de la página web ULTRASONIC MEASUREMENT THICKNESS. (2017).

La dimensión mínima del espesor del recubrimiento representa una variable importante en su medición, debido a la capacidad del equipo y al rango de inspección del transductor. Para estos casos se puede contar con medidores de espesores de pequeñas dimensiones, que además pueden tener transductores de altas frecuencias.

Así también es posible recurrir a instrumentos de alta precisión en espesores pequeños, que trabajan con ayuda de transductores especiales de diámetros reducidos y altas frecuencias.

Además de este tipo de funciones, también existen medidores de espesores con herramientas y presentaciones de inspección más avanzadas, como son barrido A y el barrido B. Las presentaciones visuales del barrido representan una ventaja para el inspector, ya que, conociendo el comportamiento del sonido en el material, se puede determinar si el eco considerado por las compuertas es realmente la pared posterior o alguna otra discontinuidad, esto en el caso del barrido "A".²⁸

Figura 3-9 Equipo ultrasónico con imagen (barrido tipo A).



Fuente: Extraída de la página web ULTRASONIC MEASUREMENT THICKNESS. (2017).

²⁸ (García, 2017)

3.4 Acoplante

Para realizar una inspección por ultrasonido en forma satisfactoria es necesario que exista la transmisión de las ondas ultrasónicas desde el transductor a la pieza de prueba, para lograrlo se recurre al uso de un medio líquido o semilíquido acústicamente conductor que sirve como puente, este medio es conocido como acoplante.

Como sabemos, el aire es un transmisor muy pobre de las ondas ultrasónicas. Ya que la diferencia de impedancias acústicas entre él y la mayoría de sólidos es muy grande, una capa muy delgada de aire evita severamente la transmisión de las ondas ultrasónicas.

El objetivo principal del acoplante es eliminar el aire atrapado en el espacio entre las superficies del transductor y de la pieza inspeccionada. De igual manera también tiene una utilidad bastante importante, la cual es de servir como lubricante para reducir la fricción entre la pieza de prueba y el palpador y así de alguna manera garantizar el tiempo de vida del propio palpador facilitando a su vez el desplazamiento del mismo en la inspección.²⁹

Las propiedades de un acoplante deben cubrir ciertos requisitos para que no dañen la superficie del material examinado. Se utiliza por lo general agua, que es un elemento fácil de conseguir y accesible, pero se le pueden agregar algunos agentes antioxidantes para evitar una reacción con la superficie. Otros acoplantes incluyen a los aceites, grasas, glicerinas, gel pastas, etc.

Para la venta en el mercado se pueden encontrar presentaciones especiales de acoplante, desde gel químicamente apropiado para no reaccionar con los materiales inspeccionados, que además cuenta con altos puntos de evaporación, viscosidad y humectabilidad adecuadas; hasta presentaciones en polvo para preparar la cantidad necesaria y poder almacenarlo más fácilmente.

Figura 3-10 Acoplante.



Fuente: Extraída de la página web ULTRASONIC MEASUREMENT THICKNESS. (2017).

3.5 Calibración del equipo

Antes de realizar una inspección con un equipo ultrasónico, es necesario calibrar el equipo para obtener las lecturas de distancia, exactas y confiables. Hay dos parámetros

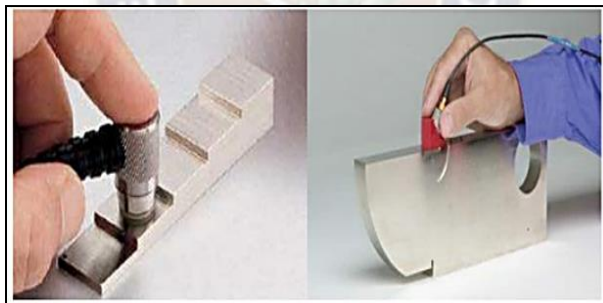
²⁹ (Villanueva, 2011)

importantes que se deben ajustar al calibrar el equipo, el primero es la velocidad de propagación de la onda ultrasónica, a través del material de prueba; este ajuste es relativamente debido a que se trata de una propiedad específica de cada material, lo que obliga al inspector a realizar una calibración por cada material que se deba inspeccionar. El segundo es el retardo del probador que es la distancia a partir de la cual se considera el cero en la lectura de longitud. Esta distancia la toma el equipo, inicialmente, desde la superficie inferior del elemento activo y no desde la superficie de contacto.³⁰

Es necesario contar con bloques de calibración, que tengan diferentes espesores conocidos, y es recomendado por algunos documentos que sea fabricado bajo las mismas condiciones que las de la pieza de prueba.

Los fabricantes suelen entregar los bloques certificados, fabricados en acero estructural, con el que se puede corroborar el buen funcionamiento del equipo; sin embargo para inspeccionar un material en especial, es recomendable siempre realizar la calibración sobre un bloque hecho con las especificaciones anteriores, o en su defecto sobre espesores conocidos de la misma pieza, en la siguiente imagen se muestran algunos bloques de calibración, aunque existen gran variedad de estos para cada aplicación.

Figura 3-11 Bloques de calibración.



Fuente: García, J. (2017)

Se deben generar dos señales a diferentes distancias, con ayuda de los espesores del bloque, para configurar el equipo ultrasónico. A este tipo de calibración se le conoce como calibración a dos puntos, se realiza el ajuste en dos rangos de espesores. Esto significa que los resultados más confiables se obtendrán en piezas que tengan un espesor que se encuentre en este rango.³¹

3.6 Criterios de aceptación

Basados en los criterios de aceptación recomendados por: ASME B31.8, ASME B31.4, API 570.

³⁰ (Villanueva, 2011)

³¹ (García, 2017)

3.6.1 Criterios de aceptación y evaluación de resultados de examinación para medición de espesores.

- **Corrosión no uniforme.** – Se presentan la corrosión externa o interna y corrosión externa.
- a) **Corrosión Externa o interna.** – Áreas de pérdida de metal externo o interno con una profundidad máxima superior al 80% del espesor de la pared deberán ser retirados o reparados. Un criterio adecuado de aptitud para el servicio se puede utilizar para evaluar el perfil longitudinal de la corrosión causando pérdida de metal en el metal base de la tubería.
- b) **Corrosión externa.** - Externamente áreas corroídas expuestas para ser examinadas deberán ser limpiadas al metal desnudo. En general, las áreas de la corrosión con una profundidad máxima de 20% o menos del espesor requerido para el diseño (t mínimo requerido) no necesitan ser reparados. Sin embargo, se deben tomar medidas para evitar una mayor corrosión. Se permitirá un área de la corrosión con una profundidad máxima mayor que 20%, pero inferior o igual a 80% del espesor de pared a permanecer en la tubería sin reparar siempre que la presión en dicha zona no exceda de un nivel seguro.³²

3.6.1.1 Criterios de aceptación de acuerdo a API 570 aplicables a tuberías de proceso y opcional a ductos.

✓ **CORROSIÓN UNIFORME**

- **Medición de espesor de Inspección**

Las mediciones de espesores se obtienen para verificar el espesor de los elementos de tuberías. Estos datos son utilizados para calcular las velocidades de corrosión y vida remanente del sistema de tuberías. Las mediciones de espesores se obtendrán por el inspector o el examinador con la dirección del inspector.

Normalmente se toman mediciones de espesor, mientras que la tubería está en funcionamiento. En condiciones de operación el monitoreo espesor es una buena herramienta para el monitoreo de la corrosión y la evaluación del daño potencial debido a proceso o cambios operativos.

- **Determinación de la velocidad de corrosión**

Cálculo de la vida remanente

La vida remanente de los sistemas de tuberías debe ser calculados de la siguiente manera:

³² Anexo B PP-2-DOM/UEST-13-A Y.P.F.B. (2014)

$$Vida\ remanente = \frac{t_{actual} - t_{requerido}}{velocidad\ de\ corrosi3n\ (in,mm/a\~no)} \quad (3-3)$$

Donde:

t_{actual} = Último espesor de pared medido

$t_{requerido}$ = Espesor de pared requerido para contener la presi3n de dise~no o presi3n m3xima de operaci3n del sistema.

$$Velocidad\ de\ corrosi3n\ (largo\ plazo) = \frac{t_{inicial} - t_{actual}}{tiempo\ (a\~nos)\ entre\ t_{inicial}\ y\ t_{actual}} \quad (3-4)$$

Donde:

$t_{inicial} = t$ = espesor inicial medido en inspecci3n l3nea base o espesor nominal de pared.

$$Velocidad\ de\ corrosi3n\ (corto\ plazo) = \frac{t_{previo} - t_{actual}}{tiempo\ (a\~nos)\ entre\ t_{previo}\ y\ t_{actual}} \quad (3-5)$$

Donde:

t_{previo} = espesor medido en inspecci3n previa a inspecci3n actual

$$t_{requerido} = \frac{P * D}{2 * S * E * F * T} \quad (3-6)$$

Donde:

P = Presi3n de Dise~no o m3xima presi3n de operaci3n.

D = Di3metro exterior de pared

S = L3mite de fluencia del material

E = Factor de Junta Longitudinal (**Anexo A**)

F = Factor B3sico de Dise~no (**Anexo A**)

T = Factor de Disminuci3n de Temperatura (**Anexo A**)

Ejemplo:

API 5L X42 (construido en 1991)

$S_y = S = 42000$ psi

$D = 6.625$ pulgadas

$t_{nominal} = 0.250$ pulgadas

$P = 1200$ psi

Espesor medido en 1995 $t_{medido} = 0.213$ plg.

Espesor medido en 2005 $t_{medido} = 0.189$ plg.

Ultimo espesor medido en 2014 $t_{medido} = 0.138$ plg.

Ahora realizamos los c3lculos correspondientes.

Reemplazando valores en la ecuaci3n (3-6):

$$t_{requerido} = \frac{P * D}{2 * S * E * F * T} = \frac{1200 * 6.625}{2 * 42000 * 1 * 0.5 * 1} = 0.095\ (pulg)$$

Ahora reemplazar valores en la ecuación (3-4):

$$\text{Velocidad de corrosión (largo plazo)} = \frac{0.25 - 0.138}{2014 - 1991} = 0.004 \left(\frac{\text{in}}{\text{año}} \right)$$

Reemplazar valores en la ecuación (3-5):

$$\text{Velocidad de corrosión (corto plazo)} = \frac{0.189 - 0.138}{2014 - 2005} = 0.005 \left(\frac{\text{in}}{\text{año}} \right)$$

Para el cálculo de vida remanente reemplazamos valores en la ecuación (3-3):

$$\text{Vida remanente} = \frac{t_{\text{actual}} - t_{\text{requerido}}}{\text{velocidad de corrosión (in, mm/año)}} = \frac{0.138 - 0.095}{0.005}$$

$$\text{Vida remanente} = 8.6 \text{ (años)}$$

El espesor actual es mayor al espesor mínimo requerido, y la vida remanente es de 8.6 años por lo que la próxima inspección no puede ser mayor a la mitad de tiempo de la vida remanente.

3.6.1.2 Criterios de aceptación de acuerdo a API 510 recipientes a presión.

Son las mismas ecuaciones vistas en el anterior punto:

$$\text{Velocidad de corrosión (largo plazo)} = \frac{t_{\text{inicial}} - t_{\text{actual}}}{\text{tiempo (años) entre } t_{\text{inicial}} \text{ y } t_{\text{actual}}}$$

$$\text{Velocidad de corrosión (corto plazo)} = \frac{t_{\text{previo}} - t_{\text{actual}}}{\text{tiempo (años) entre } t_{\text{previo}} \text{ y } t_{\text{actual}}}$$

$$\text{Vida remanente} = \frac{t_{\text{actual}} - t_{\text{requerido}}}{\text{velocidad de corrosión (in, } \frac{\text{mm}}{\text{año}})}$$

Donde:

t_{actual} = Último espesor de pared medido

$t_{\text{requerido}}$ = Espesor de pared requerido para contener la presión de diseño o presión máxima de operación del sistema.

$t_{\text{inicial}} = t_{\text{nominal}}$ = espesor inicial medido en inspección línea base o espesor nominal de pared.

t_{previo} = espesor medido en inspección previa a inspección actual.

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6 * P} \quad (3-7)$$

Donde:

P = Presión de Diseño o máxima presión de operación.

R = Radio interno de la envolvente bajo consideraciones.

S = Límite de Fluencia del material

E = Factor de Diseño de junta.

Se debe considerar la velocidad de corrosión mayor entre largo y corto plazo como velocidad de corrosión gobernante.

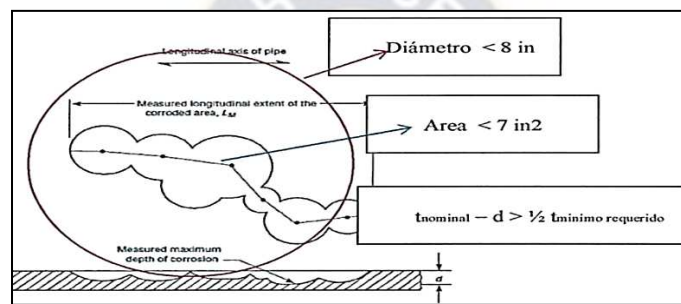
El criterio de aceptación estable que la vida remanente resultante debe dar un valor positivo y el próximo intervalo de inspección corresponderá a la mitad de la vida remanente.

- **Evaluación de las picaduras**

Durante la inspección actual, picaduras dispersas pueden ser ignorados, siempre y cuando las condiciones siguientes son verdaderas:

- a) Es espesor restante por debajo de la picadura es mayor que la mitad del espesor requerido ($1/2 t_{requerido}$).

Figura 3-12 Evaluación de las picaduras.



Fuente: Anexo B PP-2-DOM/UEST-13-A Y.P.F.B. (2014)

- b) La superficie total de la picadura que es más profunda que la tolerancia de corrosión no supera 7 pulgadas cuadradas (45 cm²) dentro de cualquier 8 in (20 cm) diámetro del círculo.
- c) La suma de las dimensiones de pitting que es más profunda que la tolerancia de corrosión a lo largo de cualquier recta 8 in (20 cm) de la línea no supere 2 in (5cm).³³

3.7 Procedimiento de la inspección por ultrasonido

El procedimiento establece los lineamientos necesarios para llevar a cabo la medición de espesores por medio de ultrasonido en tuberías y accesorios de las estaciones distritales de regulación de la ciudad de El Alto. Los equipos de medición de espesores que se utilizarán en este procedimiento serán del tipo de lectura directa del espesor, el que se muestra en un display. Se utilizarán transductores con frecuencias entre 2 MHz y 6 MHz.

3.7.1 Procedimiento de evaluación

Para el desarrollo del presente capítulo se tomará en cuenta los siguientes pasos y recomendaciones:

- ✓ Se debe realizar las mediciones de espesor con aparatos que tengan la capacidad de discriminar el espesor correspondiente a la pintura y que la superficie metálica sea

³³ Anexo B PP-2-DOM/UEST-13-A Y.P.F.B. (2014)

suficientemente uniforme y no requiera pulirse, en los casos en los que no se pueda discriminar, es conveniente se elimine pintura de tuberías en los puntos donde se va a medir el espesor, dejándolos cubiertos de grasa luego para evitar la oxidación, con el propósito de identificar el punto de medición con fines estadísticos en próximas lecturas.

- ✓ En las líneas en donde existan variaciones en las condiciones de operación como por ejemplo las que tienen instalados reguladores de presión en las cuales de las condiciones de operación como es la presión, sufre una variación, se considera como 2 unidades controlables, una antes y otra después de dicha válvula.
- ✓ Se deberá comenzar por definir el trayecto en donde se dé el flujo de gas principal (donde el flujo circula con mayor frecuencia que los otros ramales) para la evaluación de los elementos a largo del trayecto seleccionado. Línea principal.
- ✓ Verificar la calibración del equipo con las recomendaciones siguientes:
 - Cada vez que se apague y encienda el equipo.
 - Cada vez que se tenga que cambiar el palpador.
 - Cada vez que se cambien las baterías.

Proseguir con la calibración, según las instrucciones detalladas a continuación:

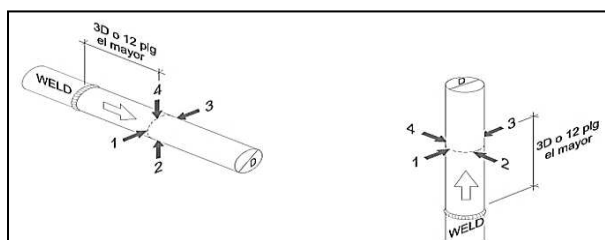
Colocar el transductor sobre un bloque de calibración adecuado de espesor conocido con un adecuado acoplante y ajustar los controles del equipo (control de material, rango, barrido, o velocidad) hasta que la pantalla muestre una adecuada lectura del espesor. Las lecturas deberían entonces ser ajustadas usando un espesor menor del bloque para mejorar la exactitud total del sistema.³⁴

- ✓ La medición se realizará en un codo para indicar accesorio de cambio de dirección, en una tee para indicar accesorio de derivación y tubería de longitud para referirse a una sección recta, utilizando para esto la siguiente recomendación:

- **Tubería**

Nivel de mediciones en tubería (4 medidas).

Figura 3-13 Puntos de medición en tubería.



Fuente: Procedimiento de medición de espesores PP-2-DOM/UEST-13-B.

³⁴ Procedimiento de medición de espesores PP-2-DOM/UEST-13-B.

La Figura 3-13 nos muestra cómo se debe realizar las mediciones de espesor en los 4 puntos en las tuberías.

Figura 3-14 Caso práctico de los puntos de medición en tubería.



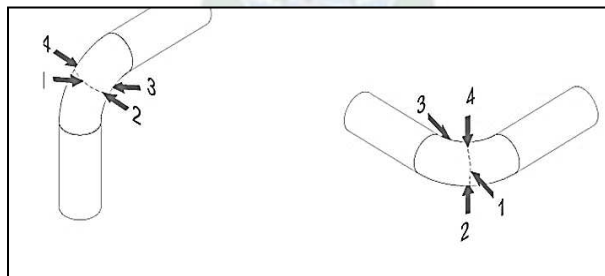
Fuente: Procedimiento realizado en campo. Elaboración propia (Infocal, El Alto, 2020).

La Figura 3-14 es un compendio de fotografías tomadas en la medición de los 4 puntos de la tubería, el equipo ultrasónico DM5 muestra la lectura de los espesores medidos en el punto donde se encuentra posicionado el transductor a 90 grados de la superficie de la tubería.

- **Codo**

Nivel de mediciones en codo (4 medidas).

Figura 3-15 Puntos de medición en codos.



Fuente: Procedimiento de medición de espesores PP-2-DOM/UEST-13-B.

La Figura 3-15 nos muestra cómo se debe realizar las mediciones en los 4 puntos en los codos. Según el procedimiento que sugiere YPFB Redes de Gas.

Figura 3-16 Caso práctico de los puntos de medición en codos.



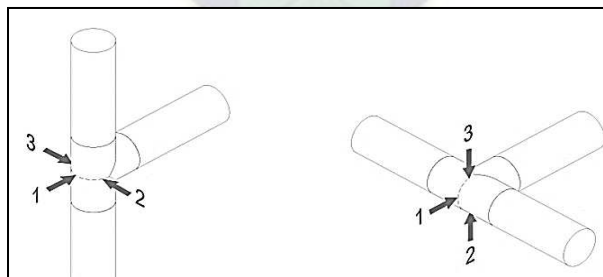
Fuente: Procedimiento realizado en campo. Elaboración propia (Infocal, El Alto, 2020).

La Figura 3-16 es un compendio de fotografías tomadas en la medición de los 4 puntos en un codo, el equipo ultrasónico DM5 muestra la lectura de los espesores medidos en unidades de pulgada en el punto donde se encuentra posicionado el transductor a 90 grados de la superficie del codo en cada punto.

- **Tee**

Nivel de mediciones en tee (3 medidas)

Figura 3-17 Puntos de medición en tee.



Fuente: Procedimiento de medición de espesores
PP-2-DOM/UEST-13-B.

La Figura 3-17 nos muestra cómo se debe realizar las mediciones en los 3 puntos en las tees. Las mediciones deben hacerse en los puntos medios en sentido antihorario. Es muy importante tomar en cuenta esas consideraciones, porque deben ser las mismas en los dos años que se midieron.

Figura 3-18 Caso práctico de los puntos de medición en tee.



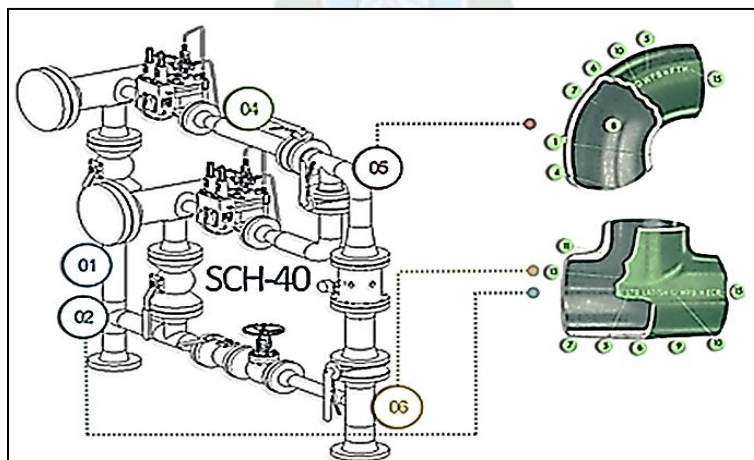
Fuente: Procedimiento realizado en campo. Elaboración propia (Infocal, El Alto, 2020).

La Figura 3-18 es un compendio de fotografías tomadas en la medición de los 3 puntos en una tee, el equipo ultrasónico DM5 muestra la lectura de los espesores medidos en unidades de pulgada en el punto donde se encuentra posicionado el transductor a 90 grados de la superficie de la tee en cada punto.

- ✓ Se iniciará la medición de espesores en el ramal antes de la regulación:
 - Primer codo
 - Primera tee de derivación
 - Un tramo de tubería (horizontal o vertical)

Si en caso no existiera o faltara alguno de los elementos citados se deberá obviar su efecto; los valores que se obtengan se deben registrar en la planilla de trabajo.

Figura 3-19 Objetos a medir en la línea principal.

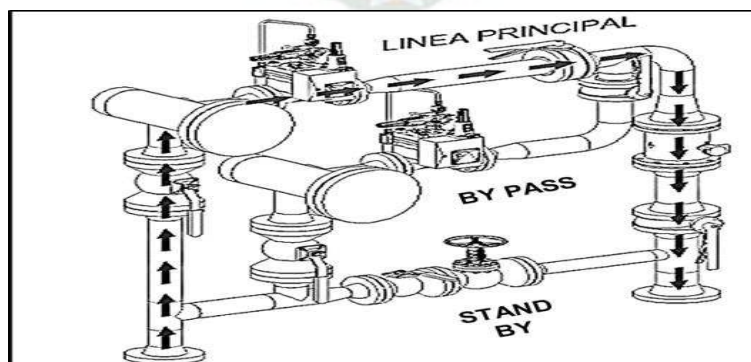


Fuente: Presentación medición de espesores Y.P.F.B. (2019)

La Figura 3-19 nos muestra los objetos a medir antes del regulador (01 es el tubo, 02 es la tee de derivación y como hay codos, se omite este objeto a medir) y después del regulador (04 es el tubo, 05 es el codo y 06 la tee, en este caso si se tubo los 3 objetos a medir).

- ✓ Luego con los valores obtenidos se deberá realizar la valoración con los siguientes pasos:
 - Revisar cada una de las mediciones obtenidas comparándolas con el espesor de retiro que corresponda y con el valor de medición anterior, con el objeto de comprobar si todos los puntos se comportan similarmente efectuando la verificación inmediata de lecturas dudosas y determinar la causa y reemplazo de dichos valores.
 - Con la valoración del punto anterior se deberá obtener la velocidad de desgaste por punto, estos valores automáticamente son obtenidos en el formulario que se elaboró en Excel, siempre y cuando los datos de entrada estén correctos.
 - Luego se deberá obtener la velocidad de desgaste promedio y máxima respectivamente para el sistema analizando, en nuestro caso será para cada línea del EDR, así como también la vida restante estimada por corrosión interna “ L_{RE-CI} ”, que al igual que en el punto anterior se obtienen automáticamente en el formulario de Excel, siempre y cuando los datos de entrada estén correctos.
- ✓ Realizar un análisis de acuerdo a las observaciones encontradas, conforme los datos encontrados y obtenidos en los formularios.
- ✓ Realizar los mismos pasos para la línea Stand by y By Pass de regulación.
- ✓ Realizaremos la contrastación en el año base 2019 y el año actual o medida actual reciente en 2020, habiendo el lapso de un año entre medida y medida.
- ✓ La frecuencia de la inspección del sistema se determinará conforme a los resultados de vida útil y velocidad de desgaste de las tuberías ya accesorios.

Figura 3-20 Líneas de regulación de una Estación Distrital de regulación tipo



Fuente: Procedimiento de medición de espesores PP-2-DOM/UEST-13-B.

La Figura 3-20 nos muestra las líneas de regulación en las cuales realizaremos la inspección ultrasónica con ayuda del procedimiento descrito anteriormente.

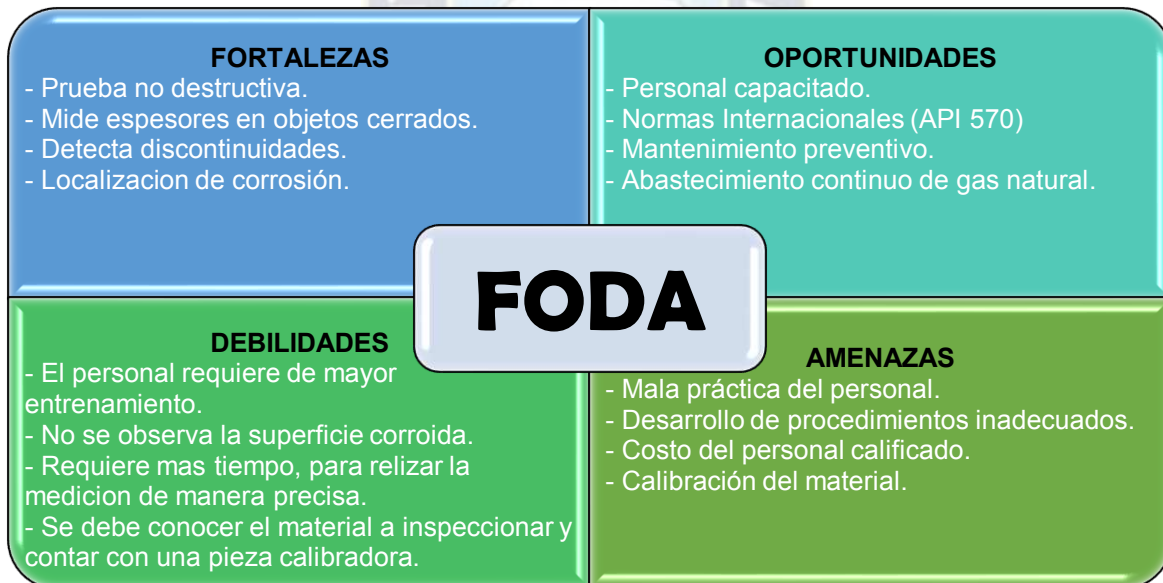
3.8 Análisis FODA de la inspección por ultrasonido.

El nombre **FODA** viene dado por las iniciales de los elementos que conforman la Matriz de análisis:

- Fortalezas (factores positivos con los que se cuenta).
- Oportunidades (aspectos positivos que podemos aprovechar utilizando nuestras fortalezas).
- Debilidades (factores negativos que se deben eliminar o reducir).
- Amenazas (aspectos negativos externos que podrían obstaculizar el logro de nuestros objetivos).³⁵

Para la construcción de la matriz se usa toda la información recolectada en el presente capítulo. En la matriz se ve las ventajas y desventajas del método propuesto para la inspección.

Figura 3-21 Matriz FODA de la inspección por ultrasonido.



Fuente: Elaboración propia.

A partir de los datos extraídos en el análisis DAFO, establecemos las estrategias a desarrollar. Aparece un análisis complementario, el análisis CAME. Este consiste en Corregir las debilidades, Afrontar las amenazas, Mantener las fortalezas y Explotar las oportunidades.³⁶

³⁵ (Análisis FODA, 2019)

³⁶ (Análisis DAFO para mejorar los resultados, 2015)

- Estrategias para Fortalezas-Oportunidades.

Realizar la inspección por ultrasonido para conocer el grado de corrosión de las tuberías, tees y codos, que pertenecen a las EDR's de la ciudad de El Alto. De esta manera también se promueve este tipo de ensayo no destructivo.

Poner en práctica las recomendaciones de la norma internacional API 570 y el procedimiento de medición propuesto por Redes de Gas (YPFB).

- Estrategias para minimizar las Debilidades.

Trabajar bajo la guía y supervisión de un experto en el área de medición ultrasónica, que cuente con certificación.

Realizar medidas de espesores en diferentes puntos, con el fin de conocer las discontinuidades de los espesores en el perímetro del área de contacto. Si se encuentran valores no confiables, se volverán a realizar las medidas en zona para corroborarlas.

- Estrategias para minimizar las Amenazas.

Recomendar la importancia del personal que realiza las mediciones.

Aplicar los procedimientos de YPFB, contrastando con las recomendaciones internacionales.

Trabajar con equipos que cuenten con certificación de calibración reciente y vigente.

3.9 Equipo de protección personal necesario para llevar a cabo el trabajo.

Son implementos, dispositivos, indumentaria personal y medios materiales complementarios a la vestimenta de las personas, diseñados y fabricados para proteger a los trabajadores de los riesgos presentes en el trabajo y que puedan amenazar su seguridad y salud, debiendo ser usados de acuerdo a las disposiciones establecidas en el lugar de trabajo y/o durante la ejecución de tareas específicas destinadas a servir como barrera física entre un agente externo y el cuerpo de una persona. Es la última medida de control de accidentes establecida en la jerarquía de control de riesgos.³⁷

- **Protección para la cabeza**

Figura 3-22 Casco de protección personal.



Fuente: Extraída de la página web Elementos de Protección Personal (2021)

³⁷ (Toro, 2017)

- **Protección para la vista**

Figura 3-23 Gafas de Protección personal.



Fuente: Extraída de la página web Elementos de Protección Personal (2021)

- **Protección para las manos brazos y torso**

Figura 3-24 Guantes, camisa y chaleco de protección personal.



Fuentes: Extraída de la página web Adsuminis (2020).

En la Figura 3-24 se muestra una camisa jeans que debe ser de material de algodón. En este caso los guantes no son necesarios debido a que sería incomod para manipular el equipo ultrasónico.

- **Protección para pies y piernas**

Figura 3-25 Pantalón y botas de protección personal.

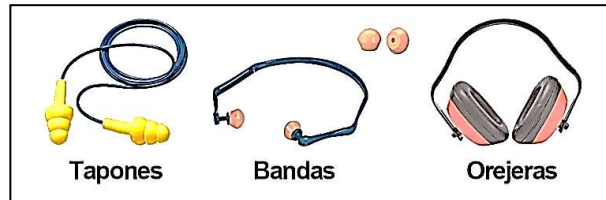


Fuentes: Extraída de la página (Adsuminis, 2020)

En la Figura 3-25 muestra pantalon jeans que debe ser de material de algodón. Las botas deben ser con punta de acero.

- **Protección para los oídos**

Figura 3-26 Tapones, bandas y orejeras para protección auditiva.



Fuente: Extraída de la página web ECOSEG Equipo de Protección Personal (EPP) (2016)

En la Figura 3-26 se puede observar diferentes protectores de oídos, se puede usar los tapones si se requieren, no es indispensable debido a que en las estaciones distritales de regulación no existen ruidos fuertes.

CAPÍTULO IV

4. APLICACIÓN PRÁCTICA Y RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO EN EDR'S DE EL ALTO

4.1 Estaciones de regulación inspeccionadas

Fueron inspeccionadas todas las EDR's pertenecientes a la ciudad de El Alto. En la siguiente tabla se detalla cada EDR y sus respectivas características.

Tabla 4-1 Características de los EDR's.

<i>EDR</i>	<i>Marca EDR</i>	<i>Capacidad del EDR (m3/h)</i>
R-1	Francel	2000
R-2	Francel	2000
R-3	Francel	2000
R-4	Francel	2000
R-5	Armec	2000
R-6	Shangai Fiorentini	1000
R-7	Total	1000
R-8	Gascat	2000
R-9	Armec	2000
R-10	Shangai Fiorentini	1000
R-11	Shangai Fiorentini	1000
R-12	Francel	5000
R-13	Shangai Fiorentini	1000
R-14	Shangai Fiorentini	1000
R-15	Armec	2000
R-16	Shangai Fiorentini	1000
R-17	Shangai Fiorentini	1000
R-18	Shangai Fiorentini	1000
R-19	Total	2000
R-20	Total	2000
R-21	Total	5000
R-22	Total	2000
R-28	Total	2000
R-32	Total	2000

Fuente: Elaboración propia.

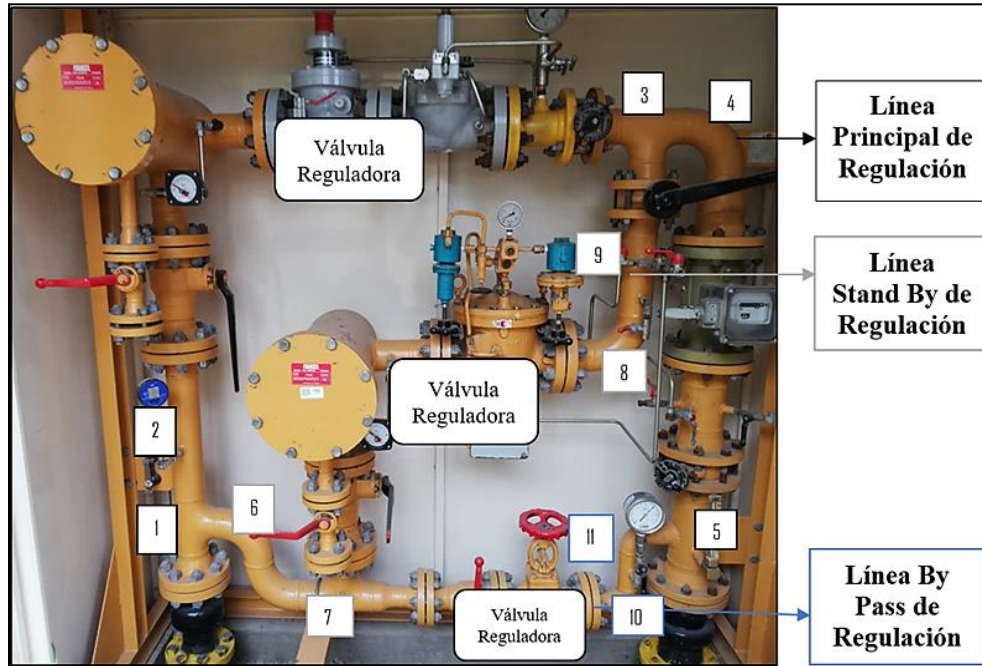
4.2 Reporte de resultados de la inspección

Se realizaron las mediciones con el medidor de espesores ultrasónico DM5 en todos los accesorios y tuberías como se determinó y detalló en el procedimiento, así también en cada línea de operación de cada EDR.

A continuación, se detalla los objetos medidos en cada marca de Estación Distrital de Regulación, se vio pertinente ya que existen diferentes marcas dentro de las EDR's

pertenecientes a la jurisdicción de la Ciudad de El Alto. Tomando en cuenta que se midió en los mismos objetos y puntos el espesor en un año base y año actual.

**Figura 4-1 Líneas de Regulación y objetos de medición de la EDR
Marca Francel.**



Fuente: Fotografía tomada en campo. Elaboración propia (Infocal, El Alto, 2020).

En la Figura 4-1 vemos una EDR de la marca *Francel*, en la *línea principal de regulación* se midieron los espesores en dos objetos (tee y tubo) antes del regulador y en 3 objetos (tee, codo y tubo) después del regulador.

En la *línea stand by de regulación* se midieron los espesores en dos objetos (codo y tee) antes del regulador y en 2 objetos (codo y tubo) después del regulador.

En la *línea by pass de regulación* se midieron los espesores en dos objetos (codo y tee) después de la válvula reguladora que opera de manera manual.

**Tabla 4-2 Descripción de los objetos medidos de la Estación Distrital de Regulación
Marca Francel.**

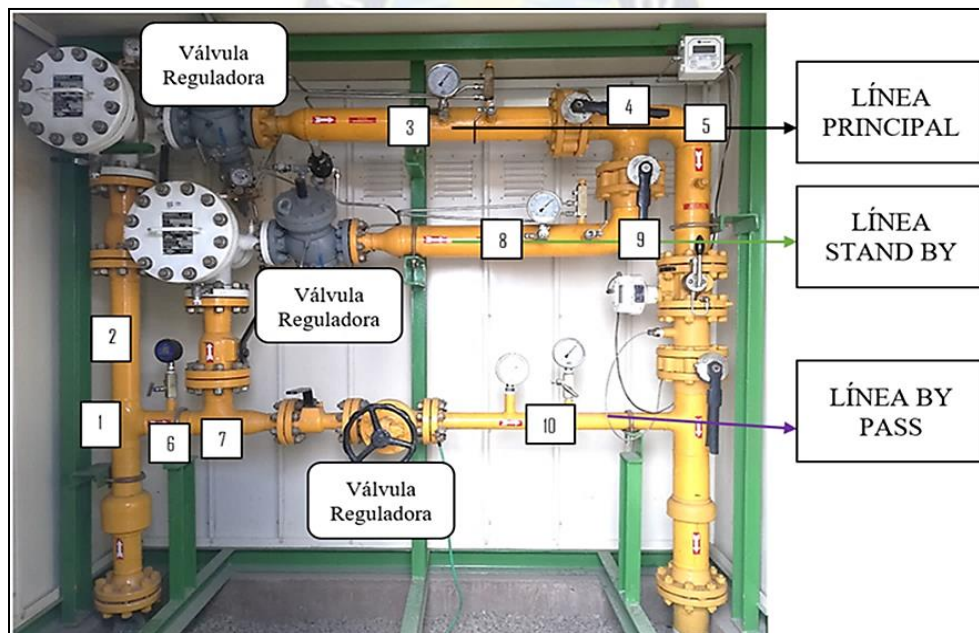
Ítem	Descripción	Abreviatura del Objeto
1	Tee (Línea Principal antes del regulador)	Tee (LP1)
2	Tubo (Línea Principal antes del regulador)	Tubo (LP1)
3	Tee (Línea Principal después del regulador)	Tee (LP2)
4	Codo (Línea Principal después del regulador)	Codo (LP2)
5	Tubo (Línea Principal después del regulador)	Tubo (LP2)
6	Codo (Línea Stand By antes del regulador)	Codo (LSB1)

Ítem	Descripción	Abreviatura del Objeto
7	Tee (Línea Stand By antes del regulador)	Tee (LSB1)
8	Codo (Línea Stand By después del regulador)	Codo (LSB2)
9	Tubo (Línea Stand By después del regulador)	Tubo (LSB2)
10	Codo (Línea By Pass de regulación manual)	Codo (LBP)
11	Tubo (Línea By Pass de regulación manual)	Tubo (LBP)

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 4-2 se describe los objetos que se muestra en la Estación Distrital de Regulación de la marca Francel (ver Figura 4-1), para un mejor entendimiento en el desarrollo de los cálculos y análisis de resultados que se mostrara posteriormente, para los mismos se usarán las abreviaturas del objeto.

**Figura 4-2 Líneas de Regulación y objetos de medición de la EDR
Marca Armec.**



Fuente: Fotografía tomada en campo. Elaboración propia (El Kenko, El Alto, 2020).

En la Figura 4-2 se puede observar la configuración de una EDR marca *Armec* y sus accesorios y tuberías evaluadas bajo el método ultrasónico, en la *línea principal de regulación* se midieron los espesores en 2 objetos (tee y tubo) antes del regulador y en 3 objetos (tubo, tee y codo) después del regulador.

En la *línea stand by de regulación* se midieron los espesores en 2 objetos (tubo y tee) antes del regulador y en 2 objetos (tubo y codo) después del regulador.

En la *línea by pass de regulación* se midieron los espesores en 1 objeto (tubo) después de la válvula reguladora que opera de manera manual.

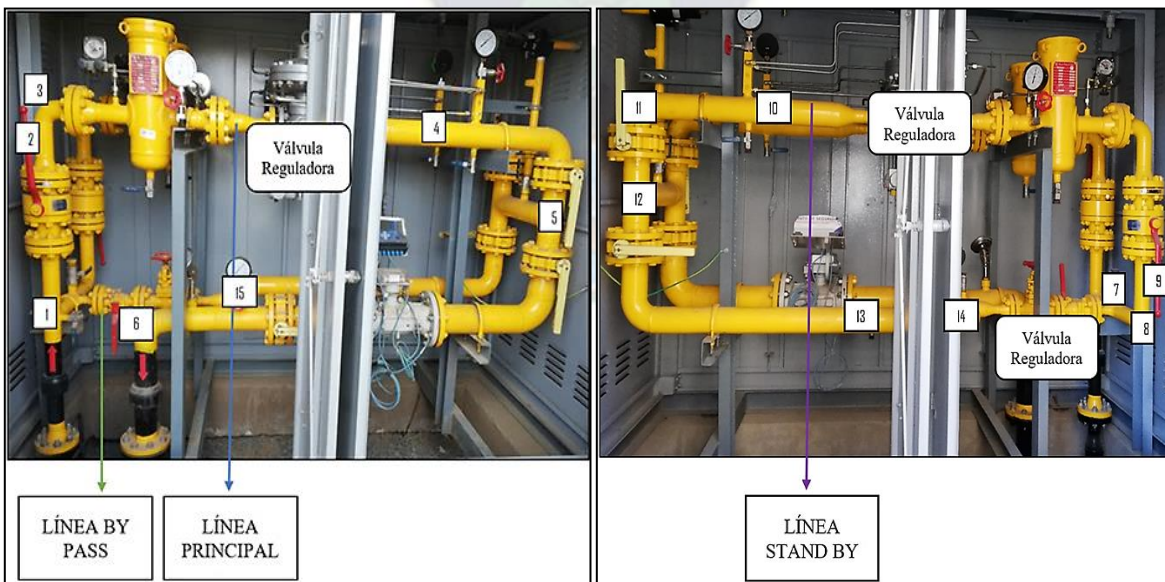
Tabla 4-3 Descripción de los objetos medidos de la Estación Distrital de Regulación Marca Armec.

<i>Ítem</i>	<i>Descripción</i>	<i>Abreviatura del Objeto</i>
1	Tee (Línea Principal antes del regulador)	Tee (LP1)
2	Tubo (Línea Principal antes del regulador)	Tubo (LP1)
3	Tubo (Línea Principal después del regulador)	Tubo (LP2)
4	Tee (Línea Principal después del regulador)	Tee (LP2)
5	Codo (Línea Principal después del regulador)	Codo (LP2)
6	Tubo (Línea Stand By antes del regulador)	Tubo (LSB1)
7	Tee (Línea Stand By antes del regulador)	Tee (LSB1)
8	Tubo (Línea Stand By después del regulador)	Tubo (LSB2)
9	Codo (Línea Stand By después del regulador)	Codo (LSB2)
10	Tubo (Línea By Pass de regulación manual)	Tubo (LBP)

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 4-3 se detalla los objetos enumerados que se muestra en la Estación Distrital de Regulación de la marca Armec (ver Figura 4-2), para un mejor entendimiento en el desarrollo de los cálculos y análisis de resultados que se mostrara posteriormente. Las abreviaturas del objeto inspeccionado serán usadas para detallar los cálculos en especial de la velocidad de corrosión.

Figura 4-3 Líneas de Regulación y objetos de medición de la EDR Marca Shanghai Fiorentini.



Fuente: Fotografía tomada en campo. Elaboración propia (Alto Lima, El Alto, 2020).

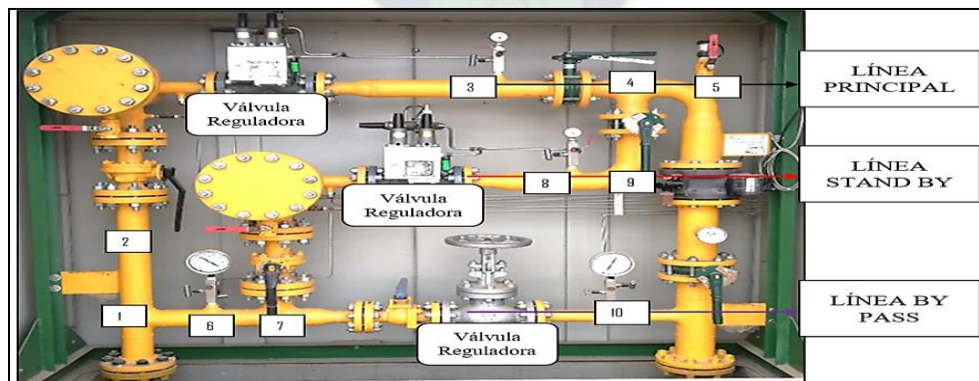
Tabla 4-4 Descripción de los objetos medidos de la Estación Distrital de Regulación Shanghai Fiorentini.

Ítem	Descripción	Abreviatura del Objeto
1	Tee (Línea Principal antes del regulador)	Tee (LP1)
2	Tubo (Línea Principal antes del regulador)	Tubo (LP1)
3	Codo (Línea Principal antes del regulador)	Codo (LP1)
4	Tubo (Línea Principal después del regulador)	Tubo (LP2)
5	Tee (Línea Principal después del regulador)	Tee (LP2)
6	Codo (Línea Principal después del regulador)	Codo (LP2)
7	Tee (Línea Stand By antes del regulador)	Tee (LSB1)
8	Codo (Línea Stand By antes del regulador)	Codo (LSB1)
9	Tubo (Línea Stand By antes del regulador)	Tubo (LSB1)
10	Tubo (Línea Stand By después del regulador)	Tubo (LSB2)
11	Codo (Línea Stand By después del regulador)	Codo (LSB2)
12	Tee (Línea Stand By después del regulador)	Tee (LSB2)
13	Tubo (Línea By Pass de regulación manual)	Tubo (LBP)
14	Codo (Línea By Pass de regulación manual)	Codo (LBP)
15	Tee (Línea By Pass de regulación manual)	Tee (LBP)

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 4-4 se detalla los objetos inspeccionados e identificados con números en la Estación Distrital de Regulación de la marca Shanghai Fiorentini (ver Figura 4-3), para un mejor entendimiento en el desarrollo de los cálculos y análisis de resultados que se mostrara posteriormente

Figura 4-4 Líneas de Regulación y objetos de medición de la EDR Marca Total.



Fuente: Fotografía tomada en campo. Elaboración propia (Villa Esperanza, El Alto, 2020).

En la Figura 4-4 se observa la configuración de una EDR de la marca *Total*, en la *línea principal de regulación* se midieron los espesores en 2 objetos (tee y tubo) antes del regulador y en 3 objetos (tubo, tee y codo) después del regulador. Esta línea se encuentra en operación constante la mayor parte del tiempo.

En la *línea stand by de regulación* se midieron los espesores en 2 objetos (tubo y tee) antes del regulador y en 2 objetos (tubo y codo) después del regulador. Esta línea entra en operación cuando la línea principal cae por alta o por baja, es decir cuando está operando fuera del rango de presión permitido.

En la *línea by pass de regulación* se midieron los espesores en 1 objeto (tubo) después de la válvula reguladora que opera de manera manual. En el caso de que las anteriores líneas tengan problemas o por alguna otra razón no puedan operar se acciona de forma manual la válvula reguladora de esta línea para asegurar el abastecimiento continuo de gas natural a la población.

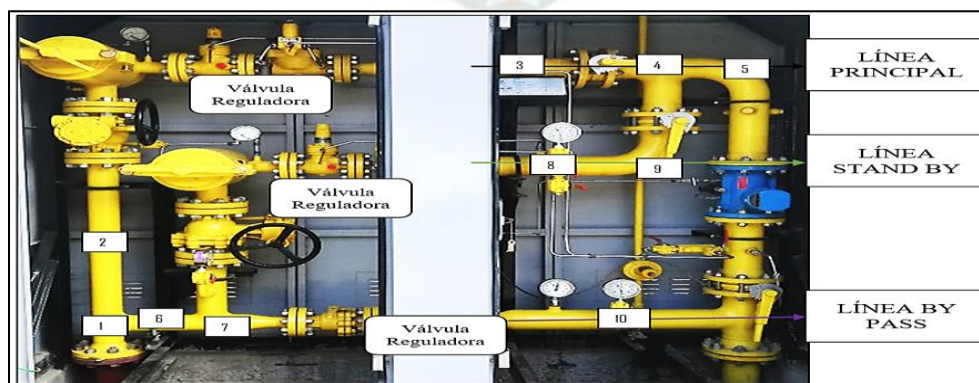
Tabla 4-5 Descripción de los objetos medidos de la Estación Distrital de Regulación Marca Total.

<i>Ítem</i>	<i>Descripción</i>	<i>Abreviatura del Objeto</i>
1	Tee (Línea Principal antes del regulador)	Tee (LP1)
2	Tubo (Línea Principal antes del regulador)	Tubo (LP1)
3	Tubo (Línea Principal después del regulador)	Tubo (LP2)
4	Tee (Línea Principal después del regulador)	Tee (LP2)
5	Codo (Línea Principal después del regulador)	Codo (LP2)
6	Tubo (Línea Stand By antes del regulador)	Tubo (LSB1)
7	Tee (Línea Stand By antes del regulador)	Tee (LSB1)
8	Tubo (Línea Stand By después del regulador)	Tubo (LSB2)
9	Codo (Línea Stand By después del regulador)	Codo (LSB2)
10	Tubo (Línea By Pass de regulación manual)	Tubo (LBP)

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 4-5 se observa la descripción de los objetos inspeccionados por el método ultrasónico, los cuales se muestran enumerados en la configuración de la Estación Distrital de Regulación de la marca Total (ver Figura 4-4), para un mejor entendimiento en el desarrollo de los cálculos y análisis de resultados que se mostrara posteriormente.

Figura 4-5 Líneas de Regulación y objetos de medición de la EDR Marca Gascat.



Fuente: Fotografía tomada en campo. Elaboración propia (Villa Ingenio, El Alto, 2020).

En la Figura 4-5 se muestra una EDR de la marca *Gascat*, en la *línea principal de regulación* se midieron los espesores en dos objetos (tee y tubo) antes del regulador y en 3 objetos (tubo, tee y codo) después del regulador.

En la *línea stand by de regulación* se midieron los espesores en dos objetos (tubo y tee) antes del regulador y en 2 objetos (tubo y codo) después del regulador.

En la *línea by pass de regulación* se midieron los espesores en un objeto (tubo) después de la válvula reguladora que opera de manera manual.

Las 3 líneas operan de la misma forma que de las demás estaciones distritales de regulación.

**Tabla 4-6 Descripción de los objetos medidos de la Estación Distrital de Regulación
Marca Gascat.**

<i>Ítem</i>	<i>Descripción</i>	<i>Abreviatura del Objeto</i>
1	Tee (Línea Principal antes del regulador)	Tee (LP1)
2	Tubo (Línea Principal antes del regulador)	Tubo (LP1)
3	Tubo (Línea Principal después del regulador)	Tubo (LP2)
4	Tee (Línea Principal después del regulador)	Tee (LP2)
5	Codo (Línea Principal después del regulador)	Codo (LP2)
6	Tubo (Línea Stand By antes del regulador)	Tubo (LSB1)
7	Tee (Línea Stand By antes del regulador)	Tee (LSB1)
8	Tubo (Línea Stand By después del regulador)	Tubo (LSB2)
9	Codo (Línea Stand By después del regulador)	Codo (LSB2)
10	Tubo (Línea By Pass de regulación manual)	Tubo (LBP)

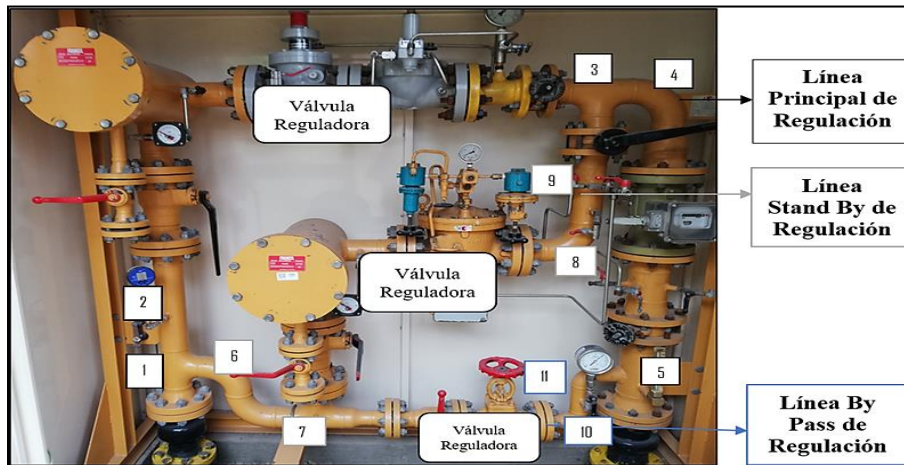
Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 4-6 se describen los objetos que se muestra en la Estación Distrital de Regulación de la marca *Gascat* (ver Figura 4-5), para un mejor entendimiento en el desarrollo de los cálculos y análisis de resultados que se mostrara posteriormente.

Sería muy extenso y repetitivo mostrar cada una de las tablas con los datos obtenidos en campo, por lo tanto, solo se expondrán los datos obtenidos en la inspección de la estación distrital de regulación 1.

En la siguiente figura se identifican los puntos medidos del EDR 1 en la inspección para realizar el ejemplo de los cálculos que se hicieron, el detalle de cada EDR está en la sección de anexos.

Figura 4-6 Objetos medidos en el EDR 1 (Marca Francel)



Fuente: Fotografía tomada en campo. Elaboración propia (Infocal, El Alto, 2020).

Tabla 4-7 Ejemplo de datos recogidos en campo del EDR 1 (Línea Principal).

Objeto	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición	Medición	Referencia
							t ant. (mm)	t act. (mm)	
TEE	1	40	5,49	3	350,9	0,891	5,580	5,477	Línea principal de regulación antes del regulador
	2						5,400	5,325	
	3						5,980	5,804	
TUBO	1	40	5,49	3	350,9	0,891	5,640	5,588	
	2						5,570	5,563	
	3						5,620	5,539	
	4						5,580	5,440	
TUBO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,930	5,902	Línea principal de regulación después del regulador
	2						5,820	5,728	
	3						5,110	5,096	
	4						5,470	5,269	
TEE	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,050	5,026	
	2						5,100	5,031	
	3						5,250	5,168	
CODO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,820	5,817	
	2						5,330	5,327	
	3						5,570	5,489	
	4						5,690	5,596	

Fuente: Elaboración propia en base a las mediciones realizadas en campo.

En la Tabla 4-7 se puede ver que en la línea principal antes del regulador no se encontraron codos, por lo tanto, se omitió. Después del regulador se encuentran 2 tubos, de los cuales solo se midió uno, el que presenta mayor longitud y corre más probabilidad de corrosión debido a la velocidad de flujo, se escogió la segunda tubería.

Tabla 4-8 Ejemplo de datos recogidos en campo del EDR 1 (Línea Stand By).

Objeto	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)	Medición (n)	Referencia
							t ant. (mm)	t act. (mm)	
CODO	1	40	5,49	3	350,9	0,891	4,630	4,542	Línea stand by de regulación antes del regulador
	2						5,640	5,542	
	3						5,510	5,496	
	4						5,460	5,396	
TEE	1	40	5,49	3	350,9	0,891	5,430	5,358	Línea stand by de regulación después del regulador
	2						5,260	5,128	
	3						5,460	5,358	
	4						5,140	5,088	
CODO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,600	5,550	Línea stand by de regulación después del regulador
	2						5,100	5,042	
	3						5,530	5,496	
	4						5,440	5,388	
TUBO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,540	5,388	Línea stand by de regulación después del regulador
	2						5,290	5,234	
	3						5,850	5,734	
	4						5,850	5,734	

Fuente: Elaboración propia en base a las mediciones realizadas en campo.

Tabla 4-9 Ejemplo de datos recogidos en campo del EDR 1 (Línea By Pass).

Objeto	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)	Medición (n)	Referencia
							t ant. (mm)	t act. (mm)	
TUBO	1	40	3,91	2	60,61	0,103	3,710	3,640	Línea by pass de regulación
	2						3,420	3,364	
	3						3,110	3,026	
	4						3,910	3,864	
CODO	1	40	3,91	2	60,61	0,103	3,330	3,302	Línea by pass de regulación
	2						3,810	3,718	
	3						3,800	3,708	
	4						3,920	3,906	

Fuente: Elaboración propia en base a las mediciones realizadas en campo.

4.3 Cálculos

- a. Con los datos recogidos y las características del material de las tuberías y accesorios, debemos calcular el espesor de retiro.

$$t_{\text{retiro}} = \frac{P \cdot D}{2 \cdot S \cdot E \cdot F \cdot T} \quad (4-1)$$

Donde:

P = Presión de Diseño o máxima presión de operación.

D = Diámetro exterior de pared

S = Límite de fluencia del material = 30000

E = Factor de Junta Longitudinal (Tabla A-1) = 1

F = Factor Básico de Diseño (Tabla A-2) = 0.5

T = Factor de Disminución de Temperatura (Tabla A-3) = 1

- Para la Línea Principal

Con los datos de la Tabla 4-7 reemplazamos valores en la ecuación (4-1):

Para la **Tee** aguas arriba del regulador de la tabla de datos obtenidos con 3 puntos:

La presión se encuentra con 350,9 (psig), con diámetro exterior de 3 (plg) y espesor original 5,49 (mm).

$$t_{retiro} = \frac{350,9 * (3 * 25.4)}{2 * 30000 * 1 * 0.5 * 1} \quad t_{retiro} = 0,891 \text{ (mm)}$$

Es el espesor mínimo que se requiere para operar a la presión indicada.

Para el **Tubo** aguas arriba del regulador de la tabla de datos obtenidos con 4 puntos:

La presión se encuentra con 350,9 (psig), con diámetro exterior de 3 (plg) y espesor original 5,49 (mm).

$$t_{retiro} = \frac{350,9 * (3 * 25.4)}{2 * 30000 * 1 * 0.5 * 1} \quad t_{retiro} = 0,891 \text{ (mm)}$$

Es el espesor mínimo que se requiere para operar a la presión indicada.

Para el **Tubo** aguas abajo del regulador de la tabla de datos obtenidos con 4 puntos:

La presión se encuentra con 63,8 (psig), con diámetro exterior de 3 (plg) y espesor original 5,49 (mm).

$$t_{retiro} = \frac{63,8 * (3 * 25.4)}{2 * 30000 * 1 * 0.5 * 1} \quad t_{retiro} = 0,162 \text{ (mm)}$$

Es el espesor mínimo que se requiere para operar a la presión indicada.

Para la **Tee** aguas abajo del regulador de la tabla de datos obtenidos con 3 puntos:

La presión se encuentra con 63,8 (psig), con diámetro exterior de 3 (plg) y espesor original 5,49 (mm).

$$t_{retiro} = \frac{63,8 * (3 * 25.4)}{2 * 30000 * 1 * 0.5 * 1} \quad t_{retiro} = 0,162 \text{ (mm)}$$

Es el espesor mínimo que se requiere para operar a la presión indicada.

Para el **Codo** aguas abajo del regulador de la tabla de datos obtenidos con 4 puntos:

La presión se encuentra con 63,8 (psig), con diámetro exterior de 3 (plg) y espesor original 5,49 (mm).

$$t_{retiro} = \frac{63,8 * (3 * 25.4)}{2 * 30000 * 1 * 0.5 * 1} \quad t_{retiro} = 0,162 \text{ (mm)}$$

Es el espesor mínimo que se requiere para operar a la presión indicada.

Para la Línea Stand By

Con los datos de la Tabla 4-8 reemplazamos valores en la ecuación (4-1):

Para el **Codo** aguas arriba del regulador de la tabla de datos obtenidos con 4 puntos:

La presión se encuentra con 350,9 (psig), con diámetro exterior de 3 (plg) y espesor original 5,49 (mm).

$$t_{\text{retiro}} = \frac{350,9 * (3 * 25.4)}{2 * 30000 * 1 * 0.5 * 1} \quad t_{\text{retiro}} = 0,891 \text{ (mm)}$$

Es el espesor mínimo que se requiere para operar a la presión indicada.

Para la **Tee** aguas arriba del regulador de la tabla de datos obtenidos con 3 puntos:

La presión se encuentra con 350,9 (psig), con diámetro exterior de 3 (plg) y espesor original 5,49 (mm).

$$t_{\text{retiro}} = \frac{350,9 * (3 * 25.4)}{2 * 30000 * 1 * 0.5 * 1} \quad t_{\text{retiro}} = 0,891 \text{ (mm)}$$

Es el espesor mínimo que se requiere para operar a la presión indicada.

Para el **Codo** aguas abajo del regulador de la tabla de datos obtenidos con 4 puntos:

La presión se encuentra con 63,8 (psig), con diámetro exterior de 3 (plg) y espesor original 5,49 (mm).

$$t_{\text{retiro}} = \frac{63,8 * (3 * 25.4)}{2 * 30000 * 1 * 0.5 * 1} \quad t_{\text{retiro}} = 0,162 \text{ (mm)}$$

Es el espesor mínimo que se requiere para operar a la presión indicada.

Para el **Tubo** aguas abajo del regulador de la tabla de datos obtenidos con 4 puntos:

La presión se encuentra con 63,8 (psig), con diámetro exterior de 3 (plg) y espesor original 5,49 (mm).

$$t_{\text{retiro}} = \frac{63,8 * (3 * 25.4)}{2 * 30000 * 1 * 0.5 * 1} \quad t_{\text{retiro}} = 0,162 \text{ (mm)}$$

Es el espesor mínimo que se requiere para operar a la presión indicada.

- **Para la Línea By Pass**

Con los datos de la Tabla 4-9 reemplazamos valores en la ecuación (4-1):

Para el **Tubo** de la tabla de datos obtenidos con 4 puntos:

La presión se encuentra con 60,61 (psig), con diámetro exterior de 2 (plg) y espesor original 3,91 (mm).

$$t_{\text{retiro}} = \frac{60,61 * (2 * 25.4)}{2 * 30000 * 1 * 0.5 * 1} \quad t_{\text{retiro}} = 0,103 \text{ (mm)}$$

Es el espesor mínimo que se requiere para operar a la presión indicada.

Para el **Codo** de la tabla de datos obtenidos con 4 puntos:

La presión se encuentra con 60,61 (psig), con diámetro exterior de 2 (plg) y espesor original 3,91 (mm).

$$t_{retiro} = \frac{60,61 * (2 * 25.4)}{2 * 30000 * 1 * 0.5 * 1} \quad t_{retiro} = 0,103 \text{ (mm)}$$

Es el espesor mínimo que se requiere para operar a la presión indicada.

b. Determinar el espesor crítico actual medido.

- **Para la Línea Principal**

Con los datos de la Tabla 4-7:

Tabla 4-10 Espesores críticos actuales medidos en la Línea Principal EDR 1.

<i>Objeto</i>	<i>Ubicación</i>	<i>Punto crítico</i>	<i>t crítico (mm)</i>
Tee	Aguas arriba	Segundo	5,325
Tubo	del regulador	Cuarto	5,440
Tubo	Aguas abajo del	Tercero	5,096
Tee	regulador	Primero	5,026
Codo		Segundo	5,327

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 4-10 se detalla los espesores crítico escogidos dentro del 4 puntos medidos en cada tubo y codo, en el caso de las tees, dentro de los 3 puntos medidos. Este punto es el espesor mínimo encontrado.

- **Para la Línea Stand By**

Con los datos de la Tabla 4-8:

Tabla 4-11 Espesores críticos actuales medidos en la Stand By EDR 1.

<i>Objeto</i>	<i>Ubicación</i>	<i>Punto crítico</i>	<i>t crítico (mm)</i>
Codo	Aguas arriba	Primero	4,542
Tee	del regulador	Segundo	5,128
Codo	Aguas abajo	Tercero	5,042
Tubo	del regulador	Tercero	5,234

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 4-11 se muestra los espesores críticos encontrados en cada objeto inspeccionado en la línea Stand By del EDR 1.

- **Para la Línea By Pass**

Con los datos de la Tabla 4-9:

Para el **Tubo** de la tabla de datos obtenidos con 4 puntos:

El punto crítico es el tercero:

$$t_{crítico} = 3,026 \text{ (mm)}$$

Para el **Codo** de la tabla de datos obtenidos con 4 puntos:

El punto crítico es el primero:

$$t_{crítico} = 3,302 \text{ (mm)}$$

- c. Calcular la velocidad de desgaste (v) de las tuberías y accesorios en cada punto en el lapso de un año y velocidad de desgaste crítica de entre los puntos obtenidos (Vc).

$$\text{Velocidad de desgaste} = \frac{t_{\text{anterior}} - t_{\text{actual}}}{\text{tiempo (años) entre } t_{\text{anterior}} \text{ y } t_{\text{actual}}} \quad (4-2)$$

- Para la Línea Principal

Con los datos de la Tabla 4-7 reemplazamos valores en la ecuación (4-2):

Para la Tee aguas arriba del regulador de la tabla de datos obtenidos con 3 puntos:

Punto 1:

$$V_1 = \frac{5,580 - 5,477}{2020 - 2019} \quad V_1 = 0,103 \left(\frac{mm}{año}\right)$$

Punto 2:

$$V_2 = \frac{5,400 - 5,325}{2020 - 2019} \quad V_2 = 0,075 \left(\frac{mm}{año}\right)$$

Punto 3:

$$V_3 = \frac{5,980 - 5,804}{2020 - 2019} \quad V_3 = 0,176 \left(\frac{mm}{año}\right)$$

Tabla 4-12 Velocidad de desgaste calculados en cada punto y velocidad crítica EDR 1 (Línea Principal).

Objeto	N	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Referencia
Tee	1	0,103	0,176	Línea principal de regulación antes del regulador
	2	0,075		
	3	0,176		
Tubo	1	0,052	0,140	Línea principal de regulación después del regulador
	2	0,007		
	3	0,081		
	4	0,140		
Tubo	1	0,028	0,201	Línea principal de regulación después del regulador
	2	0,092		
	3	0,014		
	4	0,201		
Tee	1	0,024	0,082	Línea principal de regulación después del regulador
	2	0,069		
	3	0,082		
Codo	1	0,003	0,094	Línea principal de regulación después del regulador
	2	0,003		
	3	0,081		
	4	0,094		

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 4-12 muestra los resultados de los cálculos realizados para hallar las velocidades de desgaste en cada punto de cada objeto inspeccionado, los cálculos fueron los expuestos anteriormente. Para determinar la velocidad de desgaste crítica, se usó el criterio de

máxima velocidad, debido a que es la cantidad de espesor desgastado en el lapso de un año. Se toma el lapso de un año debido a que la inspección fue realizada en un año base 2019 y año actual 2020.

- **Para la Línea Stand By**

Con los datos de la Tabla 4-8:

Tabla 4-13 Velocidad de desgaste calculados en cada punto y velocidad crítica EDR 1 (Stand By).

<i>Objeto</i>	<i>N</i>	<i>Velocidad de desgaste v (mm/año)</i>	<i>Velocidad crítica vc (mm/año)</i>	<i>Referencia</i>
Codo	1	0,088	0,098	Línea stand by de regulación antes del regulador
	2	0,098		
	3	0,014		
	4	0,064		
Tee	1	0,072	0,132	Línea stand by de regulación después del regulador
	2	0,132		
	3	0,102		
Codo	1	0,052	0,058	Línea stand by de regulación después del regulador
	2	0,050		
	3	0,058		
	4	0,034		
Tubo	1	0,052	0,152	Línea stand by de regulación después del regulador
	2	0,152		
	3	0,056		
	4	0,116		

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 4-13 se detalla los resultados obtenidos de velocidad de desgaste y velocidad crítica de desgaste. El cálculo es realizado en base a los espesores medidos en la inspección de los objetos.

- **Para la Línea By Pass**

Con los datos de la Tabla 4-9:

Tabla 4-14 Velocidad de desgaste calculados en cada punto y velocidad crítica EDR 1 (By Pass).

<i>Objeto</i>	<i>N</i>	<i>Velocidad de desgaste v (mm/año)</i>	<i>Velocidad crítica vc (mm/año)</i>	<i>Referencia</i>
Tubo	1	0,070	0,084	Línea by pass de regulación
	2	0,056		
	3	0,084		
	4	0,046		
Codo	1	0,028	0,092	Línea by pass de regulación
	2	0,092		
	3	0,092		
	4	0,014		

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 4-14 se detalla los resultados de velocidad de desgaste en cada punto, así también la velocidad crítica de desgaste en la línea By Pass.

d. Calcular la vida remanente estimada por corrosión interna (Lre).

$$Vida\ remanente = \frac{(t_{actual\ critico} - t_{requerido})(mm)}{velocidad\ de\ corrosión\ (\frac{mm}{año})} \quad (4-3)$$

- Para la Línea Principal

Para la **Tee** aguas arriba del regulador de la tabla de datos obtenidos con 3 puntos:

La vida remanente es:

$$Lre = \frac{5,325 - 0,891}{0,176} \quad Lre = 25,2 \text{ (años)}$$

Para el **Tubo** aguas arriba del regulador de la tabla de datos obtenidos con 4 puntos:

La vida remanente es:

$$Lre = \frac{5,440 - 0,891}{0,140} \quad Lre = 32,5 \text{ (años)}$$

Para el **Tubo** aguas abajo del regulador de la tabla de datos obtenidos con 4 puntos:

La vida remanente es:

$$Lre = \frac{5,096 - 0,162}{0,201} \quad Lre = 24,5 \text{ (años)}$$

Para la **Tee** aguas abajo del regulador de la tabla de datos obtenidos con 3 puntos:

La vida remanente es:

$$Lre = \frac{5,026 - 0,162}{0,082} \quad Lre = 59,3 \text{ (años)}$$

Para el **Codo** aguas abajo del regulador de la tabla de datos obtenidos con 4 puntos:

La vida remanente es:

$$Lre = \frac{5,327 - 0,162}{0,094} \quad Lre = 54,9 \text{ (años)}$$

- Para la Línea Stand By

Para el **Codo** aguas arriba del regulador de la tabla de datos obtenidos con 4 puntos:

La vida remanente es:

$$Lre = \frac{4,542 - 0,891}{0,098} \quad Lre = 37,3 \text{ (años)}$$

Para la **Tee** aguas arriba del regulador de la tabla de datos obtenidos con 3 puntos:

La vida remanente es:

$$Lre = \frac{5,128 - 0,891}{0,132} \quad Lre = 32,1 \text{ (años)}$$

Para el **Codo** aguas abajo del regulador de la tabla de datos obtenidos con 4 puntos:

La vida remanente es:

$$Lre = \frac{5,042 - 0,162}{0,058} \quad Lre = 84,1 \text{ (años)}$$

Para el **Tubo** aguas abajo del regulador de la tabla de datos obtenidos con 4 puntos:

La vida remanente es:

$$Lre = \frac{5,234 - 0,162}{0,152} \quad Lre = 33,4 \text{ (años)}$$

- **Para la Línea By Pass**

Para el **Tubo** de la tabla de datos obtenidos con 4 puntos:

La vida remanente es:

$$Lre = \frac{3,026 - 0,103}{0,084} \quad Lre = 34,8 \text{ (años)}$$

Para el **Codo** de la tabla de datos obtenidos con 4 puntos:

La vida remanente es:

$$Lre = \frac{3,302 - 0,103}{0,092} \quad Lre = 34,8 \text{ (años)}$$

e. Calcular el promedio de la velocidad de desgaste promedio para cada línea de regulación.

$$V_{promedio} = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n}{n} \quad (4-4)$$

Donde:

$V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n =$ velocidades de desgaste correspondientes a cada punto dentro de la línea $\left(\frac{mm}{año}\right)$

- **Para la Línea Principal**

La velocidad de desgaste promedio de la línea es:

$$V_{promedio} = \frac{0,103 + 0,075 + 0,176 + 0,052 + 0,007 + 0,081 + 0,140 + 0,028 + 0,092 + 0,014 + 0,201 + 0,024 + 0,069 + 0,082 + 0,003 + 0,003 + 0,081 + 0,094}{18}$$

$$V_{promedio} = 0,074 \left(\frac{mm}{año}\right)$$

- **Para la Línea Stand By**

La velocidad de desgaste promedio de la línea es:

$$V_{promedio} = \frac{0,088 + 0,098 + 0,014 + 0,064 + 0,072 + 0,132 + 0,102 + 0,052 + 0,050 + 0,058 + 0,034 + 0,052 + 0,152 + 0,056 + 0,116}{15}$$

$$V_{promedio} = 0,076 \left(\frac{mm}{año} \right)$$

- **Para la Línea By Pass**

La velocidad de desgaste promedio de la línea es:

$$V_{promedio} = \frac{0,070 + 0,056 + 0,084 + 0,046 + 0,028 + 0,092 + 0,092 + 0,014}{8}$$

$$V_{promedio} = 0,060 \left(\frac{mm}{año} \right)$$

f. Calcular la velocidad de desgaste máxima mediante una aproximación estadística.

$$V_{máxima} = V_{promedio} + 1,28 * \frac{V_{promedio}}{\sqrt{n}} \left(\frac{mm}{año} \right) \quad (4-5)$$

- **Para la Línea Principal**

La velocidad de desgaste máxima de la línea es:

$$V_{máxima} = 0,074 + 1,28 * \frac{0,074}{\sqrt{18}} \quad V_{máxima} = 0,096 \left(\frac{mm}{año} \right)$$

- **Para la Línea Stand By**

La velocidad de desgaste máxima de la línea es:

$$V_{máxima} = 0,076 + 1,28 * \frac{0,076}{\sqrt{15}} \quad V_{máxima} = 0,101 \left(\frac{mm}{año} \right)$$

- **Para la Línea By Pass**

La velocidad de desgaste máxima de la línea es:

$$V_{máxima} = 0,060 + 1,28 * \frac{0,060}{\sqrt{8}} \quad V_{máxima} = 0,087 \left(\frac{mm}{año} \right)$$

g. Próxima inspección

Debemos optar por el tiempo restante de tubería más bajo de los accesorios o tuberías hallados y entre las líneas también se debe escoger el valor mínimo ya que será el valor crítico, dividirlo entre 2 y volver a inspeccionar el EDR en el tiempo estimado crítico.

4.4 Resultados y evaluación de resultados

4.4.1 Resultados.

Realizando los cálculos en todas las líneas de regulación de las estaciones distritales de regulación (EDR) se tienen las siguientes tablas resumidas que muestran los resultados obtenidos.

Tabla 4-15 Resultados de años de vida restante en cada línea de todos las EDR's.

EDR	Vida Restante Línea Principal Lre (años)	Vida Restante Línea Stand By Lre (años)	Vida Restante By Pass Lre (años)
R-1	24,5	32,1	34,8
R-2	33,0	38,6	38,8
R-3	22,3	32,6	35,4
R-4	31,8	52,9	74,3
R-5	35,2	39,8	53,7
R-6	22,6	28,8	53,0
R-7	23,1	32,8	34,3
R-8	29,3	32,2	35,8
R-9	27,1	32,5	54,3
R-10	31,8	33,0	46,5
R-11	36,4	38,9	63,0
R-12	47,4	51,4	54,0
R-13	38,2	40,8	47,3
R-14	22,6	32,2	47,3
R-15	35,1	36,8	55,5
R-16	51,4	52,4	56,9
R-17	43,9	45,5	51,4
R-18	37,5	42,2	52,8
R-19	40,3	45,9	68,3
R-20	51,1	54,5	65,3
R-21	40,7	43,4	63,5
R-22	49,4	54,2	60,1
R-28	51,9	51,9	79,3
R-32	43,7	43,7	60,8

Fuente: Elaboración propia.

Los valores mostrados en la Tabla 4-15 son promedios de años de vida de cada línea de operación, el promedio es la suma de años de vida de cada objeto inspeccionado, dividido entre la cantidad de objetos inspeccionados, fueron calculados en base a los datos recolectados en la prueba de inspección, propios de cada EDR, y con las ecuaciones vistas anteriormente. Los cálculos fueron detallados en los anteriores puntos, tomando de ejemplo a la estación distrital de regulación R-1. Los colores en diferentes tonos de rojo muestran la variación de cantidad de años de vida útil, los valores más intensos de color rojo son las que cuentan con menos cantidad de años respecto a los tonos más claros hasta llegar a los blancos que son los valores más altos de años de vida útil.

Tabla 4-16 Velocidades de desgaste calculadas de cada línea de todos los EDR's.

EDR	Velocidad de desgaste promedio V_{prom} (mm/año)			Velocidad de desgaste máximo $V_{máx.}$ (mm/año)		
	Línea	Línea	Línea	Línea	Línea	Línea
	Principal	Stand By	By Pass	Principal	Stand By	By Pass
R-1	0,074	0,076	0,060	0,096	0,101	0,087
R-2	0,056	0,052	0,055	0,073	0,069	0,080
R-3	0,097	0,057	0,068	0,126	0,076	0,098
R-4	0,078	0,040	0,027	0,101	0,053	0,039
R-5	0,061	0,065	0,035	0,079	0,087	0,057
R-6	0,075	0,053	0,051	0,096	0,068	0,070
R-7	0,061	0,044	0,044	0,080	0,057	0,064
R-8	0,077	0,088	0,061	0,100	0,118	0,100
R-9	0,072	0,060	0,043	0,094	0,080	0,071
R-10	0,062	0,044	0,055	0,079	0,055	0,076
R-11	0,043	0,051	0,042	0,055	0,065	0,058
R-12	0,059	0,058	0,043	0,079	0,084	0,062
R-13	0,044	0,039	0,054	0,056	0,049	0,075
R-14	0,056	0,052	0,062	0,071	0,066	0,091
R-15	0,068	0,048	0,027	0,088	0,064	0,045
R-16	0,027	0,036	0,053	0,034	0,046	0,077
R-17	0,050	0,045	0,046	0,064	0,057	0,067
R-18	0,049	0,066	0,063	0,063	0,086	0,087
R-19	0,064	0,047	0,029	0,083	0,062	0,047
R-20	0,049	0,059	0,041	0,064	0,078	0,067
R-21	0,053	0,053	0,044	0,068	0,068	0,044
R-22	0,059	0,039	0,030	0,076	0,052	0,048
R-28	0,051	0,037	0,020	0,066	0,050	0,033
R-32	0,062	0,048	0,032	0,081	0,064	0,053

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 4-16 muestra las velocidades de desgaste promedio de cada línea de operación de las EDR's, las cuales son un promedio de entre todas las velocidades de desgaste de los objetos inspeccionados en las respectivas líneas. También nos muestra las velocidades de desgaste máximas de entre los objetos inspeccionados en cada línea, este valor es importante porque se debe hacer un seguimiento de los objetos a los cuales corresponde dicha velocidad, ya lo analizaremos más adelante.

Los colores hacen distinción entre las líneas además que muestran mediante las barras la magnitud de las velocidades de desgaste, haciendo notar la variación de las velocidades de desgaste entre las líneas, así también entre estaciones distritales de regulación.

4.4.2 Evaluación de resultados vida restante.

Para la **estación distrital de regulación 1**, la vida restante más baja se encuentra en la línea principal (ver Tabla 4-15), por lo tanto:

$$\text{Siguiete inspección} = \frac{LRE}{2} \quad (4-6)$$

$$\text{Siguiete inspección} = \frac{24,5}{2}$$

Se redondea al inmediato inferior.

$$\text{Siguiete inspección} = 12,25 \cong 12 \text{ años}$$

Por lo tanto, se debe realizar la siguiente inspección en 12 años, se debe medir en los mismos puntos en los que se midió en la presente inspección. Para mayor precaución se recomienda inspeccionar en un lapso de 5 años, siendo así, se programaría para el año 2025 la siguiente inspección.

Tabla 4-17 Resultados de la siguiente inspección de cada EDR.

<i>Marca EDR</i>	<i>EDR</i>	<i>Capacidad del EDR (m3/h)</i>	<i>Años de vida restante</i>	<i>Siguiete inspección (Años)</i>
Francel	R-1	2000	24	12
	R-2	2000	33	16
	R-3	2000	22	11
	R-4	2000	31	15
	R-12	5000	47	23
Armec	R-5	2000	35	17
	R-9	2000	27	13
	R-15	2000	35	17
Shangai Fiorentini	R-6	1000	22	11
	R-10	1000	31	15
	R-11	1000	36	18
	R-13	1000	38	19
	R-14	1000	22	11
	R-16	1000	51	25
	R-17	1000	43	21
	R-18	1000	37	18
Total	R-7	1000	23	11
	R-19	2000	40	20
	R-20	2000	51	25
	R-21	5000	40	20
	R-22	2000	49	24
	R-28	2000	51	25
	R-32	2000	43	21
Gascat	R-8	2000	29	14

Fuente: Elaboración propia.

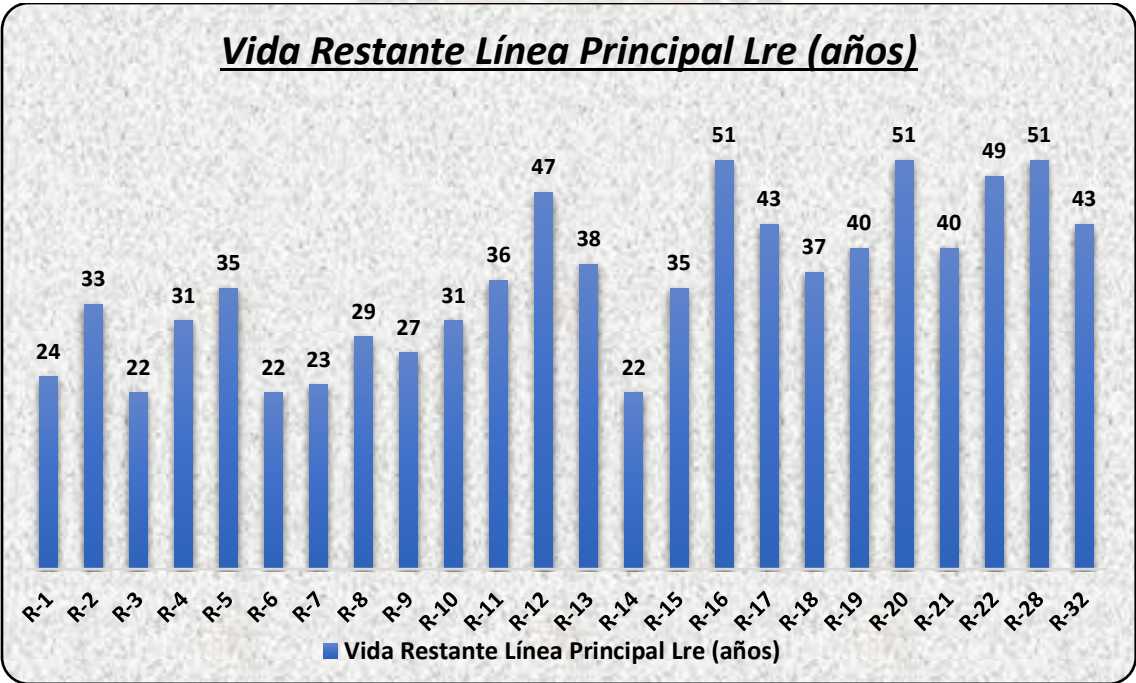
Los valores de años de vida restante mostrados en la Tabla 4-17 son de la línea principal, debido a que es la línea más afectada por el desgaste del espesor en los objetos inspeccionados (ver Tabla 4-15). Esos valores se redondearon al inmediato inferior para proceder con el cálculo para determinar los años que se pueden esperar para realizar la siguiente inspección preventiva, los valores hallados también fueron redondeados al inmediato inferior, ya que sería difícil medir con exactitud años con decimales.

Dentro de los valores hallados los que se encuentran resaltados de rojo son los 5 más próximos a inspeccionar que van de 11 a 12 años, por tanto, si sigue este criterio las siguientes inspecciones tendrían que ser el año 2031 y 2032.

Los valores resaltados con amarillo son los que se encuentran en un rango medio de proximidad de años que deben pasar para la siguiente inspección, sin embargo, van desde 13 a 21 años.

Finalmente, los que valores que se encuentran marcados de color verde, son los que esperar mayor cantidad de años para su siguiente inspección, están en el rango de 23 a 25 años, siendo 3 de la marca Total dentro de los 5 EDR's que se encuentran en esta clasificación. Son los que tiene mayor cantidad de años de vida útil.

Figura 4-7 Relación de la Vida Restante entre los EDR's.



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 4-7 fue elaborada en base a la Tabla 4-17 con los datos de los EDR's, los cuales vienen codificados con la letra "R" y los resultados obtenidos de vida útil restante de cada

uno, se escogió el más crítico (valor mínimo en años), los cuales se encuentran en la línea principal de las estaciones de regulación.

4.4.2.1 Relación de vida útil restante y marcas de las EDR's.

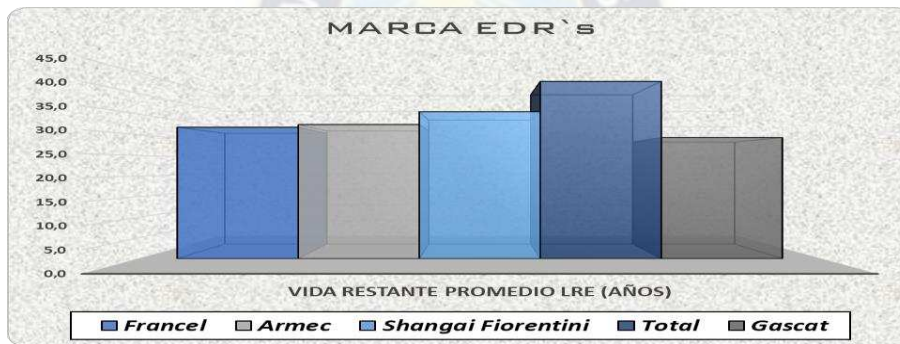
Conociendo las marcas de las EDR's podemos realizar la relación entre marcas para observar cuál es el comportamiento de la vida restante.

Tabla 4-18 Relación de la Vida Restante y Marcas de las EDR's.

Marca EDR	Vida Restante Promedio Lre (años)
Francel	31,8
Armec	32,5
Shangai Fiorentini	35,6
Total	42,9
Gascat	29,3

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-8 Relación de la Vida Restante y Marcas de las EDR's.



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 4-8 muestra que la marca Total es la que tiene más años de vida útil como promedio, en contraste la marca Gascat tiene menos años de vida útil seguida de Francel que es una de las más antiguas. Sin embargo, podemos notar que esta relación no tiene coherencia debido a que solo existe una EDR de la marca Gascat, por lo tanto, no se cuenta con un promedio para realizar el análisis actual. Por las razones expuestas se descarta esa afirmación. Consideramos entonces a Francel como la marca que tiene menor cantidad de años de vida útil, siendo esta la que tiene las EDR's más antiguas que se encuentran en operación.

4.4.2.2 Relación de vida útil restante y capacidad de las EDR's.

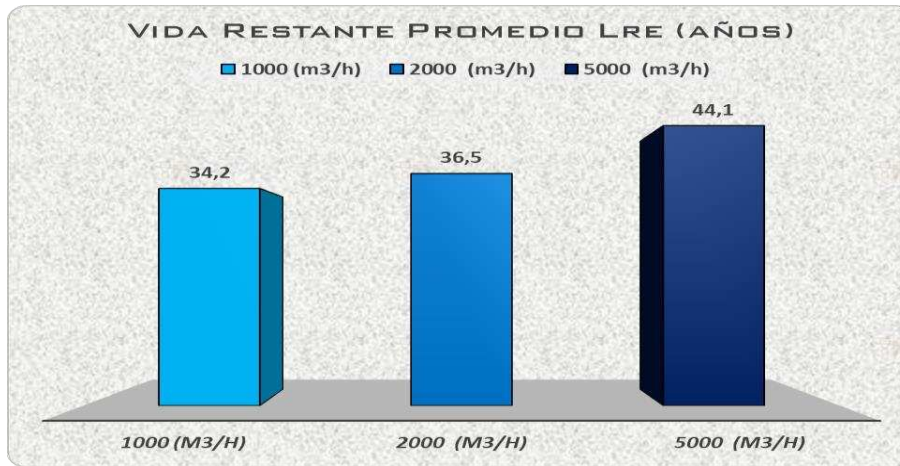
También tenemos los datos de la capacidad de cada EDR, por lo tanto, se puede realizar una relación en función a las capacidades de operación y hallando el promedio de los años de vida restante de las estaciones distritales de regulación. Los promedios son de los resultados de vida útil de las líneas principales.

Tabla 4-19 Relación de la Vida Restante y Capacidad de las EDR's.

<i>Capacidad de la EDR (m3/h)</i>	<i>Vida Restante Promedio Lre (años)</i>
1000	34,2
2000	36,5
5000	44,1

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-9 Relación de la Vida Restante y Capacidad de las EDR's.



Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar que los promedios no son del todo confiables, sin embargo, nos dan un indicio que como es la variabilidad del desgaste y vida restante de las estaciones distritales de regulación.

En la Figura 4-9 se observa que las EDR's con mayor capacidad son las que tienen mayor valor en años de vida restante como lo muestra la capacidad de 5000 (m3/h) seguida de la 2000 (m3/h) y finalmente la capacidad de 1000 (m3/h) con el promedio más bajo.

4.4.3 Evaluación de resultados velocidad de desgaste.

Usaremos el método de Gráficos de control para la variable velocidad de desgaste. Suponemos que la distribución de la característica es normal (μ , σ), al menos aproximadamente. Los pares más comunes son las medias y rangos.

Paso 1: Establecer los objetivos del control del proceso.

La finalidad es observar la variación de la velocidad de desgaste de las tuberías, codos y tees.

Paso 2: Identificar la variable o variables a controlar.

Es necesario determinar que variable del proceso se va a medir para conseguir satisfacer las necesidades de información. La variable en nuestro caso es la velocidad de desgaste.

Paso 3: Determinar el tipo de gráfico de control que es conveniente utilizar.

Gráficos de control “X, R”

Constan de dos gráficos, uno para el control de las medidas de tendencia central (media X) y otro para el control de la variabilidad.

Valido para muestras pequeñas (tamaño de muestra $n < 8$).

Se construye un gráfico para la evolución de las medias de los grupos (asociado con la ubicación de la característica μ) y otro para la evolución de los rangos (asociado con la dispersión de la característica σ).

Se utiliza los rangos para medir la variabilidad ya que son fáciles de calcular y tienen una eficiencia similar a la desviación estándar para subgrupos pequeños.

Paso 4: Elaborar el plan de muestreo

Tamaño de la muestra “n” será pequeño ($n=4$ para los tubos y codos y $n=3$ para tee)

La frecuencia de muestreo fue un año actual (2020) y año base (2019), para ver los cambios en el proceso entre las muestras que son nuestros puntos de medición.

Paso 5: Recoger los datos según el plan establecido

Las unidades de cada muestra serán recogidas de forma consecutiva para que esta sea homogénea y representativa del momento de la toma de datos.

Paso 6: Calcular la media (X) y el rango (R) para cada muestra.

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \quad (4-7)$$

X_i = Valor de la característica medida.

n = Tamaño de la muestra.

$$R = (X_{\text{máxima}} - X_{\text{mínima}}) \quad (4-8)$$

Se calcula la media y el rango de cada muestra.

Paso 7: Calcular los límites de control para cada uno de los gráficos.

Si no se conocen μ y σ (lo más común) deben estimarse a partir de los datos.

- Para las medias:

$$LSC = \bar{\bar{X}} + A_2 * \bar{R} \quad (4-9)$$

$$LC = \bar{\bar{X}} \quad (4-10)$$

$$LIC = \bar{\bar{X}} - A_2 * \bar{R} \quad (4-11)$$

- Para los rangos:

$$LSC = D_4 * \bar{R} \quad (4-12)$$

$$LC = \bar{R} \quad (4-13)$$

$$LIC = D_3 * \bar{R} \quad (4-14)$$

Las constantes A_2 , D_3 y D_4 son obtenidos de tablas que se detallara posteriormente.

Paso 8: Definir las escalas de los gráficos.

Se dibujarán dos gráficos en la misma hoja, uno para representar la medida de tendencia central (X) y otro para representar la medida de variabilidad o dispersión (R).

Paso 9: Representar en el grafico la línea central y los límites de control.

Los tres limites serán graficados de manera horizontal.

Paso 10: Incluir los datos pertenecientes a las muestras en el gráfico.

Para el grafico "X" se representará cada muestra con un punto, buscando la intersección entre numero de la muestra (eje horizontal) y el valor de su medida (eje vertical).

Para el grafico "R" se representará cada muestra con un punto, buscando la intersección entre el numero de la muestra (eje horizontal) y el valor de su recorrido (eje vertical).

Paso 11: Comprobación de los datos de construcción del grafico de control "X, R".

Todas las medias de las muestras deben estar dentro de sus límites de control.

$$LCI < X_i < LCS$$

Todos los rangos de las muestras utilizadas para la construcción del grafico "R" deben estar dentro de sus límites de control.

$$LCI < R_i < LCS$$

Paso 12: Análisis y resultados.

Reglas de decisión o prueba de rachas:

- a) Un punto situado más allá de los límites de control está fuera de control.
- b) Nueve puntos consecutivos en el mismo lado.
- c) Seis puntos consecutivos ascendentes o descendientes.
- d) Catorce puntos consecutivos alternando arriba y abajo.
- e) Dos de tres puntos consecutivos situados más allá de dos sigmas.
- f) Cuatro de cinco puntos consecutivos situados a más allá de uno sigma (mismo lado)
- g) Quince puntos consecutivos situados a menos de uno sigma (ambos lados).
- h) Ocho puntos consecutivos situados a más de uno sigma (ambos lados).

- EDR 1

Este análisis se puede realizar en Excel o de manera más eficiente en el software Statgraphics, ya que este último analiza las reglas de decisión y nos da un análisis completo. Por lo tanto, realizaremos los cálculos del EDR 1 con Excel y las siguientes con el software Statgraphics para ahorrar tiempo. Los resultados obtenidos son los mismas al igual que las gráficas, para su corroboración se hallarán también los gráficos en el software mencionado.

Tabla 4-20 Datos de velocidad de desgaste en cada uno de los puntos (EDR 1).

OBJETOS	DATOS			
	X1	X2	X3	X4
TEE (LP1)	0,103	0,075	0,176	
TUBO (LP1)	0,052	0,007	0,081	0,140
TUBO (LP2)	0,028	0,092	0,014	0,201
TEE (LP2)	0,024	0,069	0,082	
CODO (LP2)	0,003	0,003	0,081	0,094
CODO (LSB1)	0,088	0,098	0,014	0,064
TEE (LSB1)	0,072	0,132	0,102	
CODO (LSB2)	0,052	0,050	0,058	0,034
TUBO (LSB2)	0,052	0,152	0,056	0,116
TUBO (LBP)	0,070	0,056	0,084	0,046
CODO (LBP)	0,028	0,092	0,092	0,014

Fuente: Elaboración propia.

Medias:

Reemplazando valores en la ecuación (4-7).

$$\bar{X}_{TEE (LP1)} = \frac{0,103 + 0,075 + 0,176}{3} = 0,118 \text{ (mm/año)}$$

Realizamos el mismo cálculo para cada objeto inspeccionado.

Rangos:

Reemplazando valores en la ecuación (4-8).

$$R_{TEE (LP1)} = 0,176 - 0,075 = 0,101 \text{ (mm/año)}$$

Realizamos el mismo cálculo para cada objeto inspeccionado.

- **Límite Central para las medias:**

$$\bar{\bar{X}} = \frac{0,118 + 0,070 + 0,084 + 0,058 + 0,045 + 0,066 + 0,102 + 0,048 + 0,094 + 0,064 + 0,056}{11}$$

$$LC = \bar{\bar{X}} = 0,073 \text{ (mm/año)}$$

- **Límite Central para los rangos:**

$$\bar{\bar{R}} = \frac{0,101 + 0,133 + 0,187 + 0,058 + 0,091 + 0,084 + 0,060 + 0,024 + 0,100 + 0,038 + 0,078}{11}$$

$$LC = \bar{\bar{R}} = 0,087 \text{ (mm/año)}$$

Con los valores de la tabla del **Anexo B** para n=4: A₂ = 0,729, D₃ = 0,000 y D₄ = 2,282.

Calculamos los demás límites.

- **Para las medias:**

Límite Superior de Control.

$$LSC = \bar{\bar{X}} + A_2 * \bar{\bar{R}} = 0,073 + 0,729 * 0,087 \qquad LSC = 0,137 \text{ (mm/año)}$$

Límite Inferior de Control.

$$LIC = \bar{\bar{X}} - A_2 * \bar{\bar{R}} = 0,073 - 0,729 * 0,087 \qquad LIC = 0,010 \text{ (mm/año)}$$

- **Para los rangos:**

Límite Superior de Control.

$$LSC = D_4 * \bar{R} = 2,282 * 0,087$$

$$LSC = 0,198 \text{ (mm/año)}$$

Límite Inferior de Control.

$$LIC = D_3 * \bar{R} = 0,000 * 0,087$$

$$LIC = 0,000 \text{ (mm/año)}$$

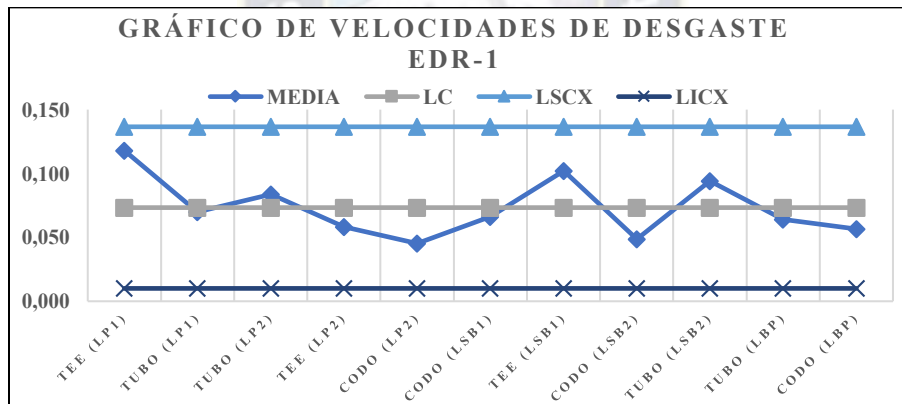
Tabla 4-21 Resultados obtenidos para las gráficas de la media y rango de las velocidades (EDR 1).

OBJETOS	TEE (LP1)	TUBO (LP1)	TUBO (LP2)	TEE (LP2)	CODO (LP2)	CODO (LSB1)	TEE (LSB1)	CODO (LSB2)	TUBO (LSB2)	TUBO (LBP)	CODO (LBP)
MEDIA (mm/año)	0,118	0,070	0,084	0,058	0,045	0,066	0,102	0,048	0,094	0,064	0,056
	LC		0,073	LSCX		0,137	LICX		0,010		
RANGO (mm/año)	0,101	0,133	0,187	0,058	0,091	0,084	0,060	0,024	0,100	0,038	0,078
	LC		0,087	LSC		0,198	LIC		0,000		

Fuente: Elaboración Propia.

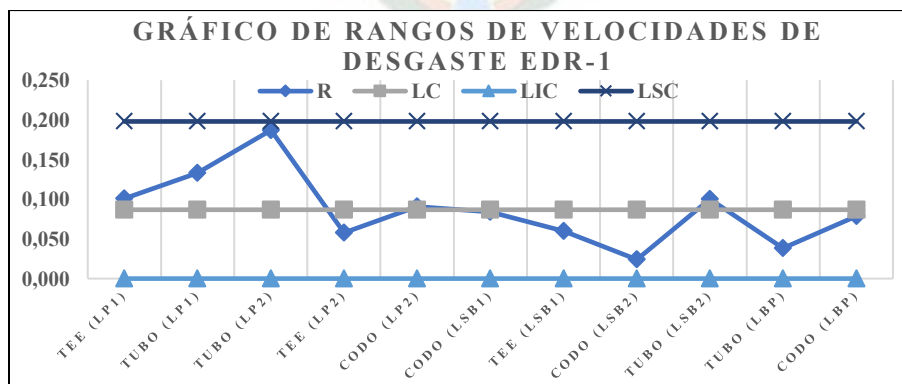
La Tabla 4-21 muestra los valores hallados para cada objeto inspeccionado en la EDR 1, la misma nos ayudara a realizar las gráficas y así poder ver las variaciones y realizar el análisis mediante el Statgraphics.

Figura 4-10 Medias de las velocidades de desgaste EDR 1.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4-11 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 1.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4-12 Llenado de datos EDR 1 Statgraphics.

	X1	X2	X3	X4	Col_5	Col_6
1	0,103	0,075	0,176			
2	0,052	0,007	0,081	0,140		
3	0,028	0,092	0,014	0,201		
4	0,024	0,069	0,082			
5	0,003	0,003	0,081	0,094		
6	0,088	0,098	0,014	0,064		
7	0,072	0,132	0,102			
8	0,052	0,050	0,058	0,034		
9	0,052	0,152	0,056	0,116		
10	0,070	0,056	0,084	0,046		
11	0,028	0,092	0,092	0,014		

Fuente: Software Statgraphics.

Se llenaron los datos de la Tabla 4-20 en la interfaz del software Statgraphics como se ve en la Figura 4-12. Posteriormente se va a la opción “controlar” y se escoge la opción “gráficos de control por variables”, posteriormente se mostrarán más opciones de las cuales se debe escoger “gráficos de control básicos” y finalmente se debe hacer click en la opción “X-bar y R”. Luego nos muestra un cuadro donde se debe seleccionar los datos a tratar, ponemos aceptar y seleccionamos todos los resultados para obtener toda la información del tratamiento de datos.

Figura 4-13 Resultados de velocidades de desgaste de la EDR 1 (Statgraphics)

Gráficos X-bar y R - X1-X4		Transformación: ninguna	
Distribución: Normal		Gráfico de Rangos	
Gráfico X-bar		Gráfico de Rangos	
<i>Período</i>	#1-11	<i>Período</i>	#1-11
LSC: +3,0 sigma	0,140751	LSC: +3,0 sigma	0,204092
Línea Central	0,071878	Línea Central	0,0868353
LIC: -3,0 sigma	0,00300536	LIC: -3,0 sigma	0,0
0 fuera de límites		0 fuera de límites	
Estimados			
<i>Período</i>	#1-11		
Media de proceso	0,071878		
Sigma de proceso	0,0443222		
Rango promedio	0,0867273		
Sigma estimada a partir del rango medio			

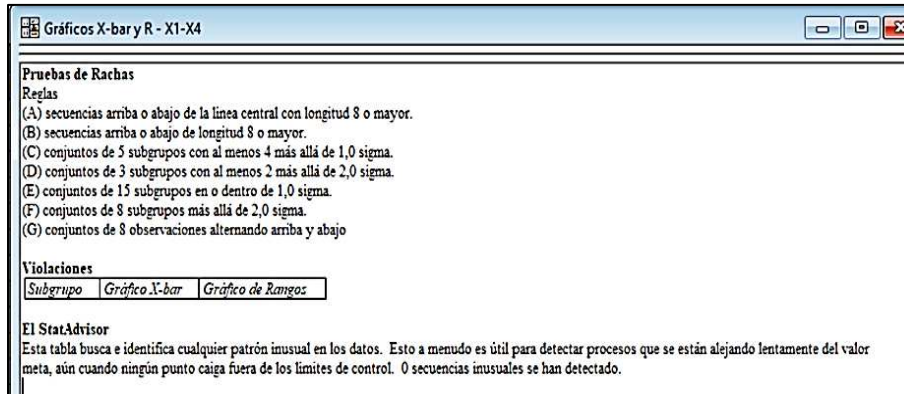
Fuente: Software Statgraphics.

Este procedimiento crea un gráfico de X-bar y R para X1-X4. Está diseñada para permitirle determinar si los datos provienen de un proceso en un estado de control estadístico. Los gráficos de control se construyen bajo el supuesto de que los datos provienen de una distribución normal con una media igual a 0,071878 y una desviación estándar igual a 0,0443222. Estos parámetros fueron estimados a partir de los datos.

De los 11 puntos no excluidos mostrados en el gráfico, 0 se encuentran fuera de los límites de control en el primer gráfico, mientras que 0 están fuera de límites en la segunda. Puesto

que la probabilidad de que aparezcan 0 o más puntos fuera de límites, sólo por azar, es 1,0 si los datos provienen de la distribución supuesta, no se puede rechazar la Hipótesis de que el proceso se encuentra en estado de control estadístico con un nivel de confianza del 95%.³⁸

Figura 4-14 Reglas de decisión o prueba de rachas EDR 1.



Fuente: Software Statgraphics.

Como se puede observar todos los valores encontrados de velocidad de desgaste están bajo control estadístico ya que no incumplen ninguno de los puntos de las reglas de decisión o prueba de rachas como se lo llama en el software Statgraphics. Así también se observa que no hay una variación notable entre las gráficas obtenidas en Excel y en el software los límites solo presentan variación en decimales.

Tomando esas consideraciones, se procederá a evaluar las velocidades de desgaste de las demás estaciones distritales de regulación con Excel hasta obtener las gráficas ya que son más explicativas respecto a accesorios y tuberías, como complemento se rescatará las evaluaciones de rachas del software Statgraphics ya que nos da un análisis completo y puntual.

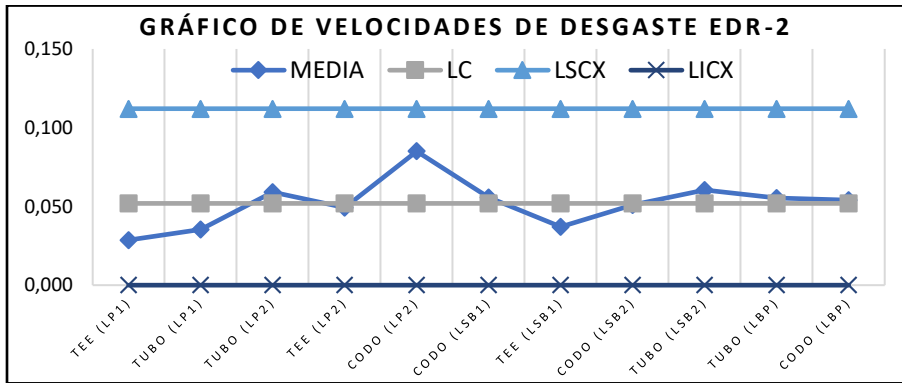
- EDR 2

Las velocidades de desgaste se encuentran bajo control estadístico, el objeto con mayor velocidad de corrosión es el codo, se encuentra en la línea principal de regulación, después del regulador. Y la que tiene menor velocidad de corrosión es la tee de derivación, la cual se encuentra antes del regulador, en la línea principal. En esta EDR podemos observar que en la línea principal se encuentra mayor velocidad de desgaste a comparación de las otras 2 líneas.

Las gráficas fueron realizadas en base a los valores calculados en base a espesores medidos en zona.

³⁸ StatAdvisor (Software Statgraphics)

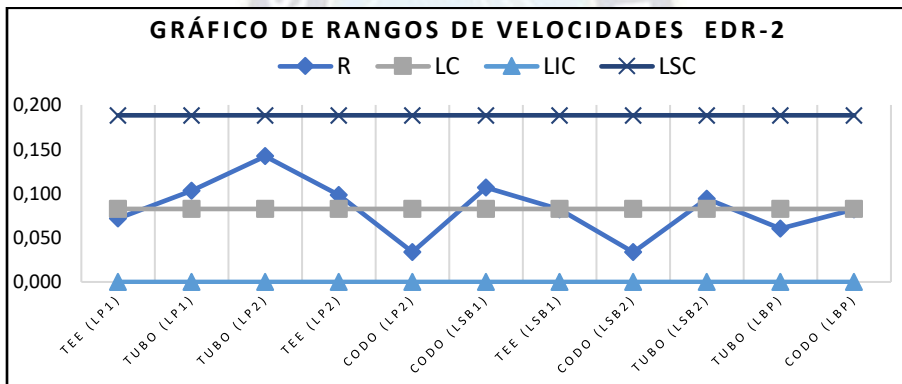
Figura 4-15 Medias de las velocidades de desgaste EDR 2.



Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 4-15 fue elaborada en base a los datos del EDR-2 (ver Anexo D). la velocidad de corrosión media de la EDR (Limite central) es 0,050 (mm/año). En la línea principal y stand by se encuentran un tubo y un codo por encima de la media y en la By Pass un tubo.

Figura 4-16 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 2.



Fuente: Elaboración Propia.

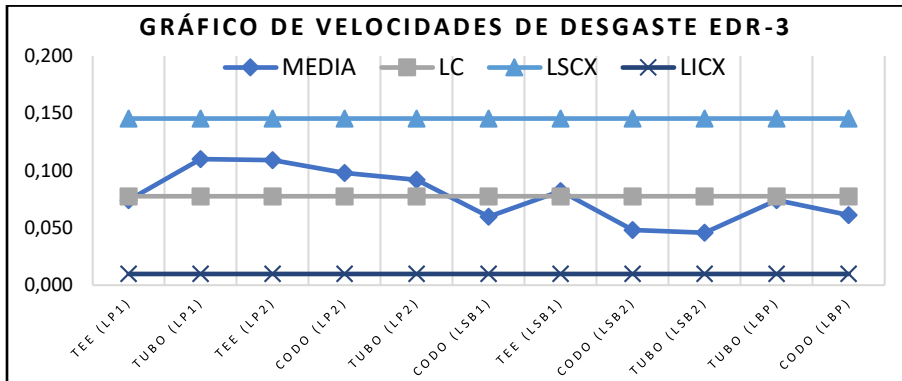
El límite central de los rangos de los objetos es 0,083 (mm/año), en la Figura 4-16 se observa la dispersión entre los rangos, siendo el tubo de la línea principal antes del regulador, el que presenta mayor rango. Como se ve no existe homogeneidad entre los rangos.

- EDR 3

Las velocidades de corrosión se encuentran bajo control estadístico tanto en rangos como en las medias. Las gráficas que se presentan a continuación se construyeron con los datos que se encuentran en el Anexo D pertenecientes a la EDR.

En la gráfica de velocidades de desgaste se observa que en la línea principal se encuentran los objetos con mayor velocidad de corrosión, están por encima de la media de velocidad de desgaste 0,078 (mm/año).

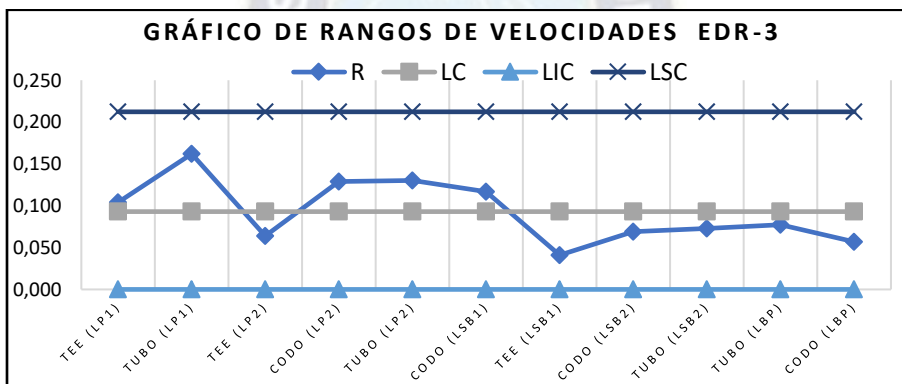
Figura 4-17 Medias de las velocidades de desgaste EDR 3.



Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 4-17 muestra las velocidades medias de cada objeto inspeccionado, el tubo que se encuentra en la línea de regulación principal antes del regulador, presenta mayor velocidad de corrosión 0,110 (mm/año).

Figura 4-18 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 3.



Fuente: Elaboración Propia.

Los rangos de las velocidades de corrosión tienen un límite central de 0,093 (mm/año). El tubo que tenía mayor velocidad de corrosión, también se ve que tiene un rango alto entre las velocidades. Los rangos no son homogéneos.

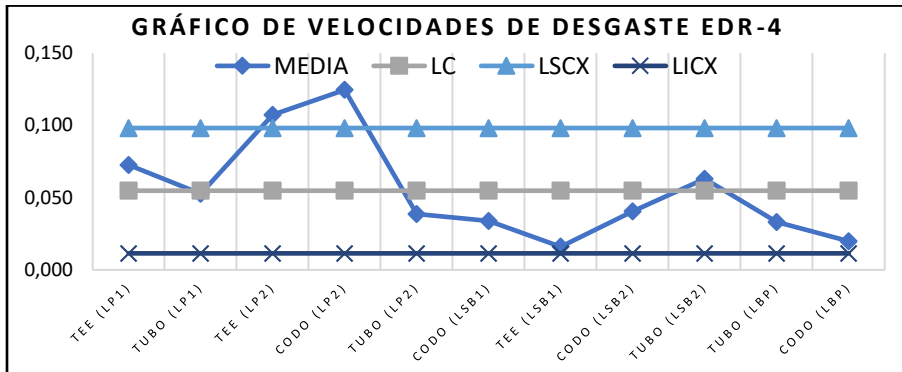
- EDR 4

La media de la velocidad de desgaste de esta EDR es 0,055 (mm/año), en la gráfica construida con los datos del Anexo D, se puede identificar 2 objetos por encima del límite de control superior, una tee y un tubo (ver Figura 4-19), las cuales pertenecen a la línea principal de regulación después del regulador.

En la Figura 4-20 podemos ver 4 puntos consecutivos fuera del límite del valor de 1 sigma, los rangos son dispersos y existe una gran diferencia entre un valor mínimo y máximo. Por lo tanto, no es homogénea.

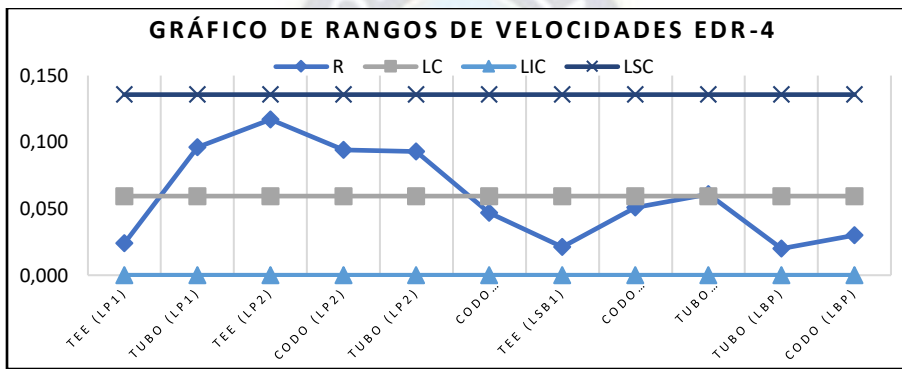
Por todo lo expuesto y observado, las gráficas no se encuentran bajo control estadístico.

Figura 4-19 Medias de las velocidades de desgaste EDR 4.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4-20 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 4.

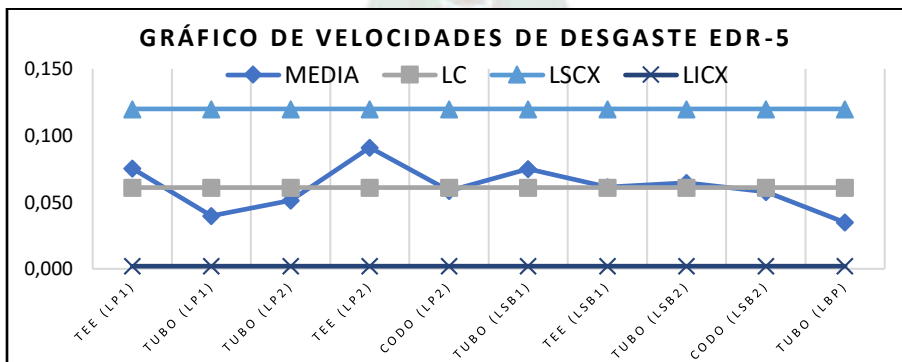


Fuente: Elaboración Propia.

- EDR 5

La media de las velocidades de corrosión de los objetos inspeccionados en esta EDR no presenta una dispersión grande, su valor medio es 0,061 (mm/año).

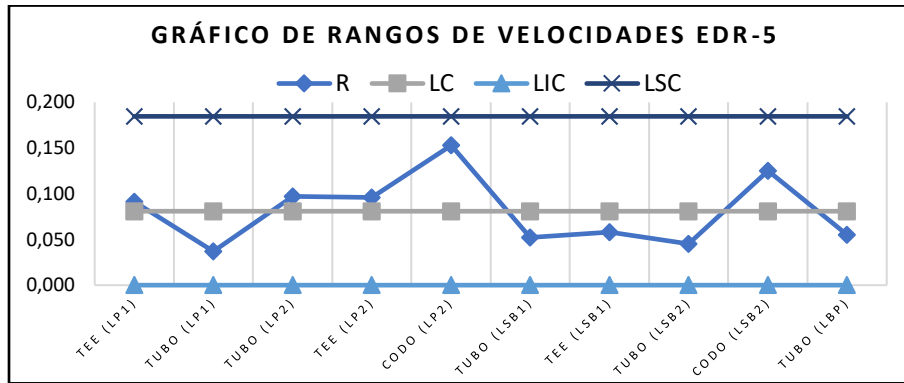
Figura 4-21 Medias de las velocidades de desgaste EDR 5.



Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 4-21 muestra que la tee ubicada en la línea principal (después del regulador), tiene la velocidad de corrosión media más elevada, por lo tanto, se debe prestar atención en ese objeto.

Figura 4-22 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 5.



Fuente: Elaboración Propia.

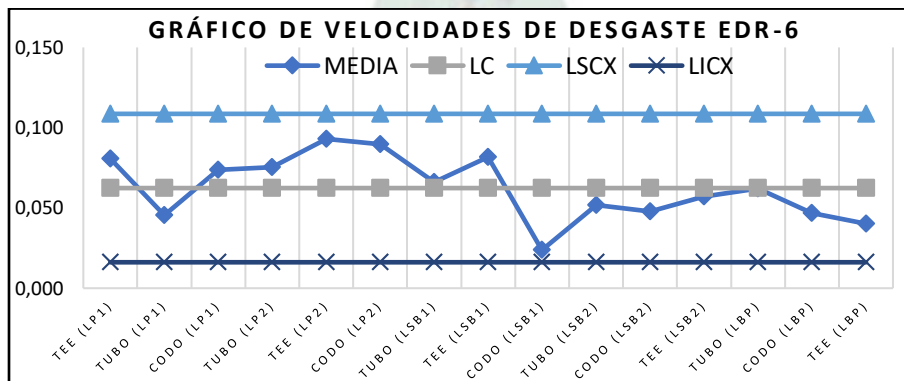
Los rangos entre las velocidades de corrosión de los objetos son variados, por lo tanto, no es homogénea (ver Figura 4-22), la que presenta mayor variación es el codo que se encuentra en la línea principal de regulación (aguas abajo del regulador) con el valor de 0,153 (mm/año).

Ambas graficas se encuentran bajo control estadístico.

- EDR 6

Las gráficas que se observan a continuación son construidas en base a los valores que se encuentran en el Anexo D. El límite central de las medias de las velocidades de desgaste es 0,062 (mm/año). El objeto que presenta mayor velocidad de corrosión es la tee que se ubica en la línea principal de regulación (aguas abajo del regulador) con el valor de 0,093 (mm/año). También se puede ver en la Figura 4-23 que los valores de velocidad se encuentran bajo control estadístico.

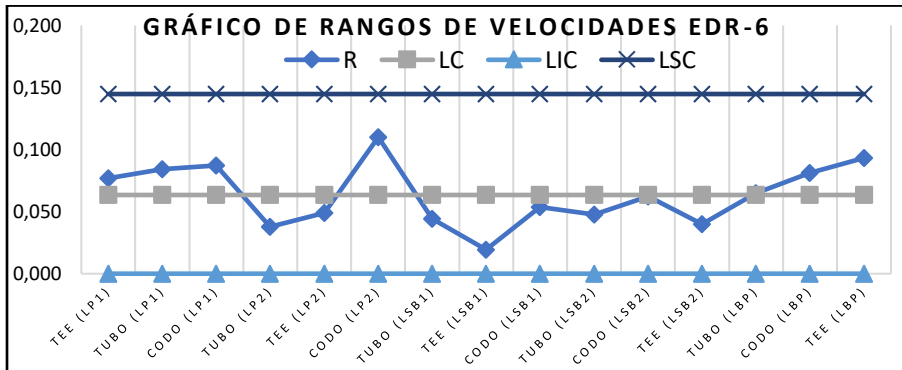
Figura 4-23 Medias de las velocidades de desgaste EDR 6.



Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 4-24 muestra la variación de los rangos entre las velocidades de corrosión, tiene como límite central el valor de 0,063 (mm/año), los rangos no son homogéneos, sin embargo, la gráfica se encuentra bajo control estadístico.

Figura 4-24 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 6.

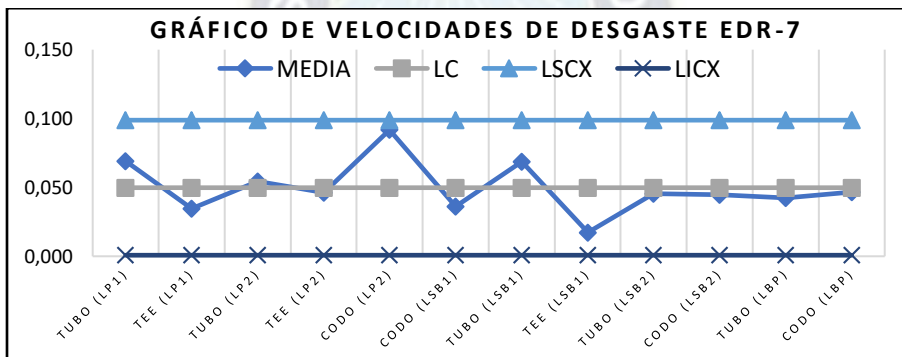


Fuente: Elaboración Propia.

- EDR 7

Las gráficas de las medias de velocidad de desgaste y rango están en base a los datos de la EDR ubicadas en el Anexo D.

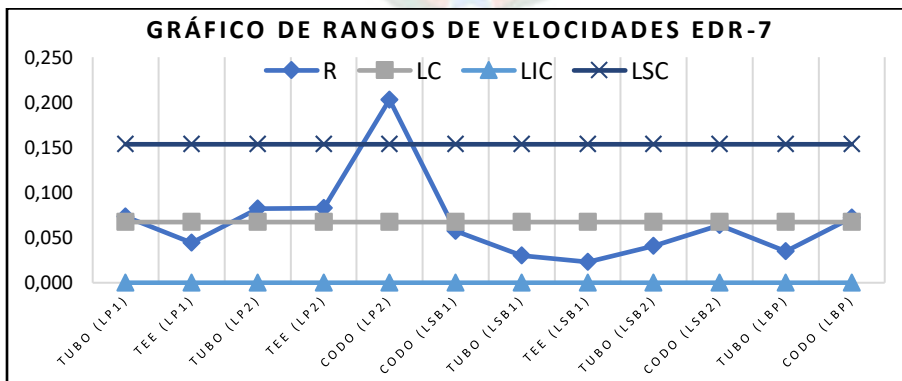
Figura 4-25 Medias de las velocidades de desgaste EDR 7.



Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 4-25 muestra que el codo que se encuentra en la línea principal de regulación (aguas abajo del regulador) con el valor de 0,092 (mm/año), es el que tiene mayor velocidad de corrosión. Se tiene una media de la velocidad de desgaste de la EDR de 0,050 (mm/año).

Figura 4-26 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 7.



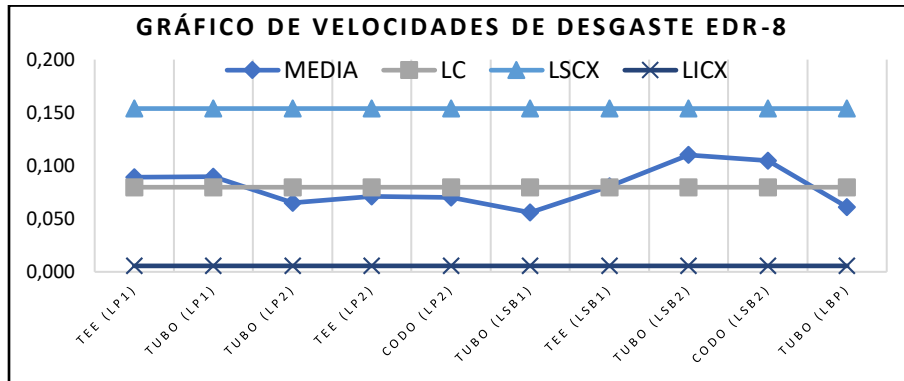
Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 4-26 se observa que hay un objeto (codo) cuyo rango de velocidades de corrosión se encuentra por encima del límite de control superior, por lo tanto, se encuentra fuera de control al igual que la gráfica de las medias de velocidad de corrosión. Además, por la variabilidad que se ve en la gráfica, se ve que los rangos no son homogéneos.

- **EDR 8**

Las gráficas construidas a continuación se realizaron en base al Anexo D.

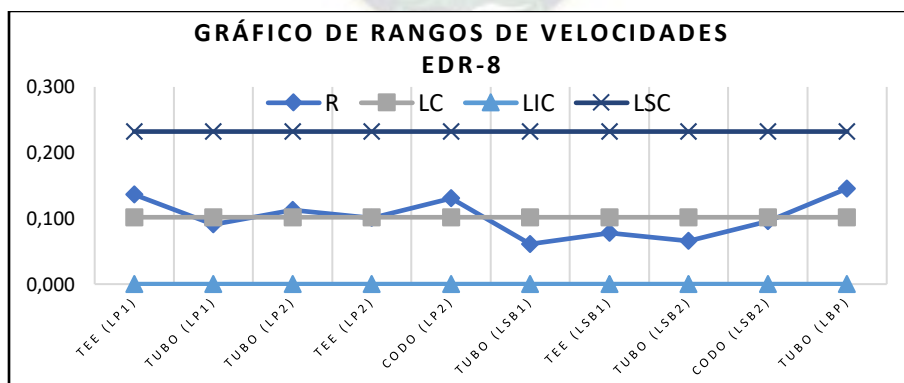
Figura 4-27 Medias de las velocidades de desgaste EDR 8.



Fuente: Elaboración Propia.

A diferencia de los anteriores gráficos, donde el objeto con mayor velocidad de desgaste se encontraba en la línea principal, en esta EDR los objetos con velocidad crítica se encuentran en la línea Stand By. El objeto (tubo) se encuentra aguas abajo del regulador con el valor de 0,110 (mm/año). El valor de la media de velocidad de corrosión de la EDR es 0,080 (mm/año). Todos los valores se encuentran bajo control estadístico.

Figura 4-28 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 8.



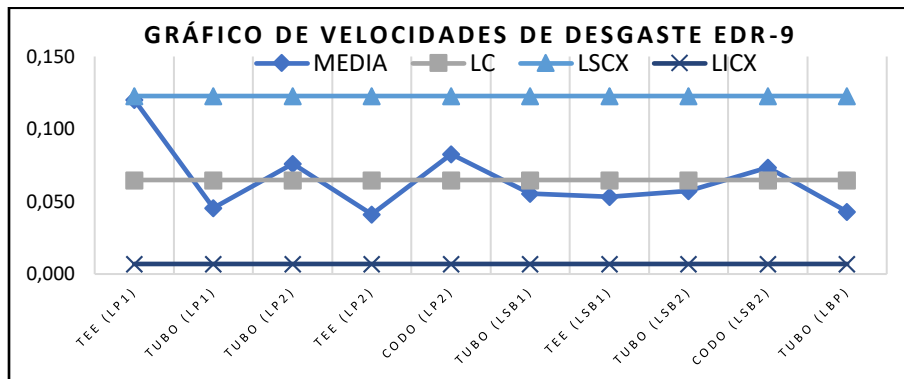
Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 4-28 muestra que existe poca variabilidad entre los rangos de los objetos. El tubo que se encuentra en la línea de By Pass presenta el rango con mayor dispersión con el valor de 0,145 (mm/año). Todos los valores están cercanos al límite central de los rangos, el cual es 0,102 (mm/año), por lo tanto, los datos se encuentran bajo control estadístico.

- **EDR 9**

Las gráficas que se muestran a continuación de velocidad de desgaste y rango de las mismas están construidas con los datos de la EDR que se encuentran en el Anexo D.

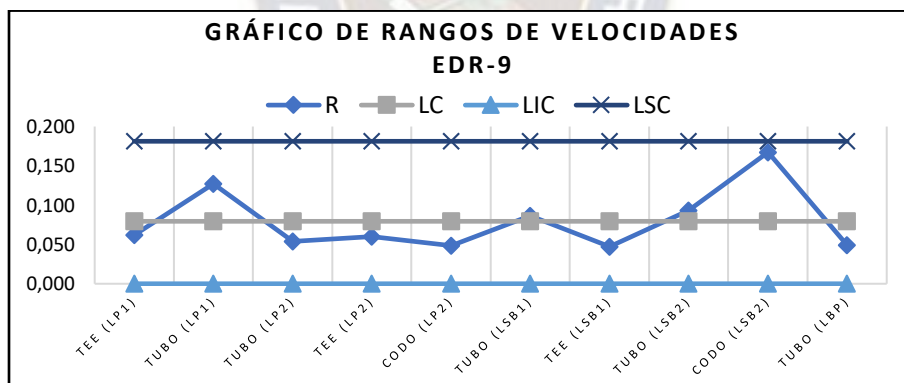
Figura 4-29 Medias de las velocidades de desgaste EDR 9.



Fuente: Elaboración Propia.

La velocidad media de la EDR es 0,123 (mm/año). Como se ve en la Figura 4-29 el objeto con mayor velocidad de desgaste es la tee que se encuentra en la línea principal de regulación (aguas arriba del regulador) con el valor de 0,120 (mm/año). Todos los valores están dentro de los límites de control.

Figura 4-30 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 9.



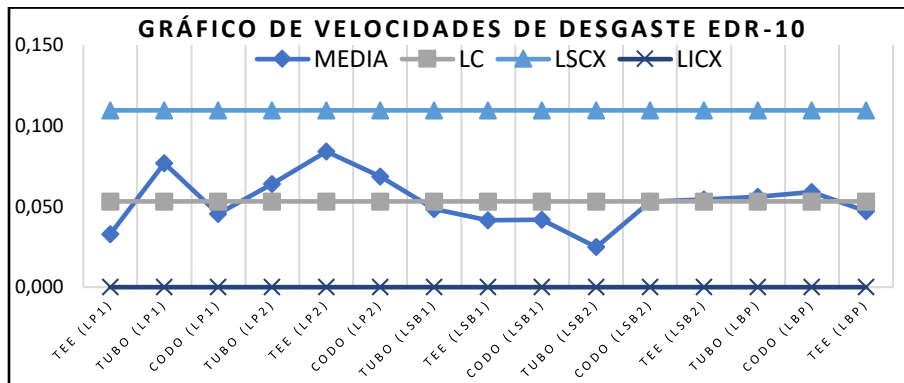
Fuente: Elaboración Propia.

Los rangos de las velocidades de desgaste no son homogéneos (ver Figura 4-30). El codo que pertenece a la línea Stand By de regulación (aguas abajo del regulador) presenta el rango con mayor dispersión con el valor de 0,167 (mm/año). Los demás valores de rango se encuentran más cercano al límite central 0,079 (mm/año). Los valores no están fuera de los límites de control, por lo tanto, la gráfica se encuentra bajo control estadístico.

- **EDR 10**

Las gráficas mostradas a continuación se encuentran bajo control estadístico debido a que ningún valor de velocidad de desgaste esta fuera de los límites de control.

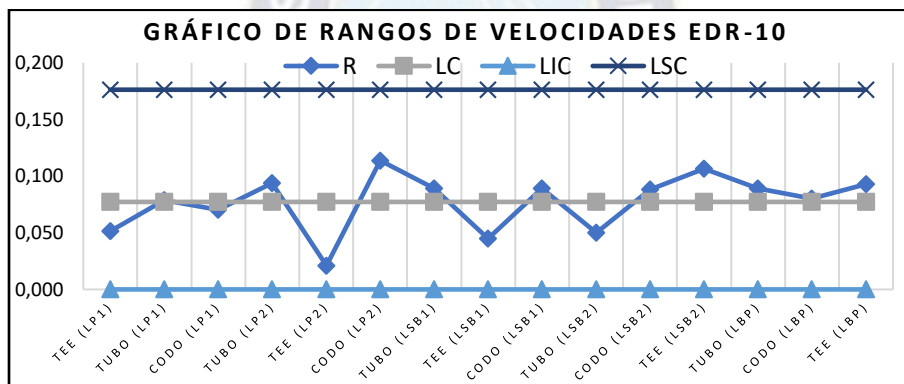
Figura 4-31 Medias de las velocidades de desgaste EDR 10.



Fuente: Elaboración Propia.

La velocidad media de desgaste de la EDR es 0,053 (mm/año). El objeto con mayor velocidad de corrosión es una tee (ver Figura 4-31), se encuentra en la línea principal de regulación (aguas abajo del regulador) que tiene el valor de 0,084 (mm/año).

Figura 4-32 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 10.



Fuente: Elaboración Propia.

Los rangos de velocidad de corrosión no son homogéneos (ver Figura 4-32). El rango mayor es 0,114 (mm/año) y pertenece al codo ubicado en la línea principal de regulación (aguas abajo del regulador).

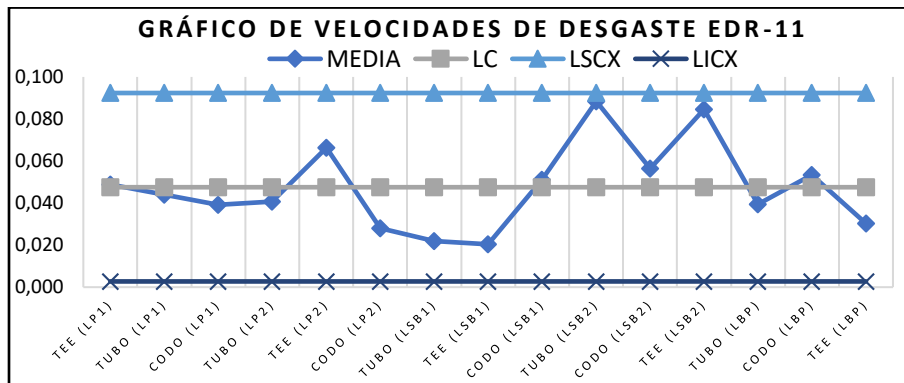
- EDR 11

Las gráficas mostradas a continuación de las medias de las velocidades de desgaste y los rangos de las mismas están construidas con los datos del Anexo D.

La velocidad media de desgaste de la EDR es 0,048 (mm/año). El rango medio entre las velocidades de desgaste de la EDR es 0,061 (mm/año). Los valores graficados en ambas gráficas se encuentran bajo control estadístico.

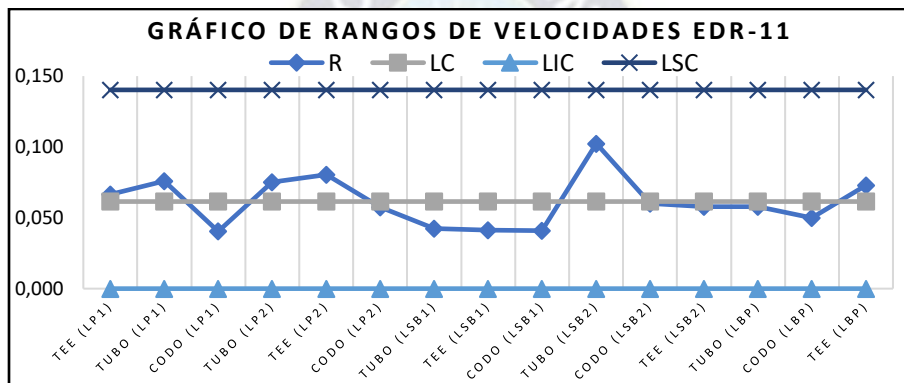
Los objetos críticos debido a su velocidad de corrosión alta se encuentran en la línea Stand By de regulación (ver Figura 4-33), el tubo ubicado aguas arriba del regulador presenta el valor más elevado de 0,088 (mm/año).

Figura 4-33 Medias de las velocidades de desgaste EDR 11.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4-34 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 11.



Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 4-34 muestra que el tubo ubicado en la línea Stand By de regulación (aguas debajo de regulación) tiene un rango mayor a los demás, su valor es de 0,102 (mm/año). Los rangos no son homogéneos.

- EDR 12

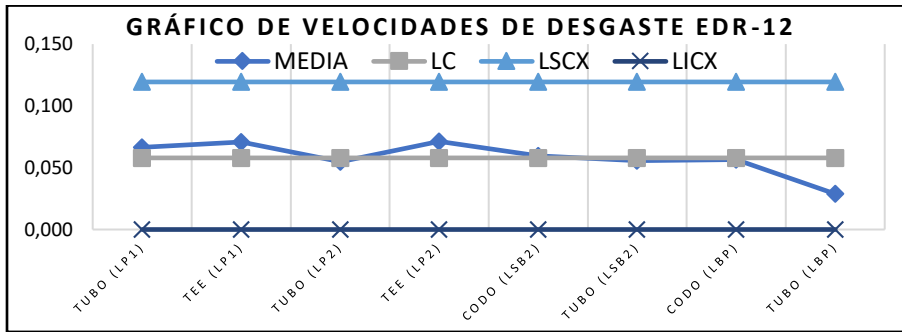
Las gráficas de control mostradas a continuación están construidas en base a valores del Anexo D, las dos graficas se encuentran bajo control estadístico, los valores graficados son próximos a los límites centrales de ambas.

El valor de la media de la velocidad de desgaste por corrosión de la EDR es 0,058 (mm/año). El rango promedio de la velocidad de desgaste de la EDR es 0,084 (mm/año).

Las velocidades críticas de desgaste se encuentran en la línea principal de regulación (ver Figura 4-35), tienen el mismo valor de 0,071 (mm/año), en la tee (aguas arriba del regulador) y el tubo (aguas abajo del regulador).

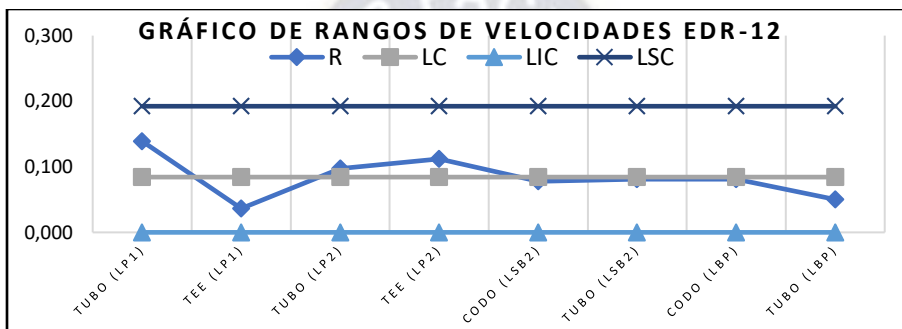
El rango con mayor dispersión pertenece a un objeto que se encuentra en línea principal de regulación (ver **Figura 4-36**), tiene un valor de 0,139 (mm/año).

Figura 4-35 Medias de las velocidades de desgaste EDR 12.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4-36 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 12.



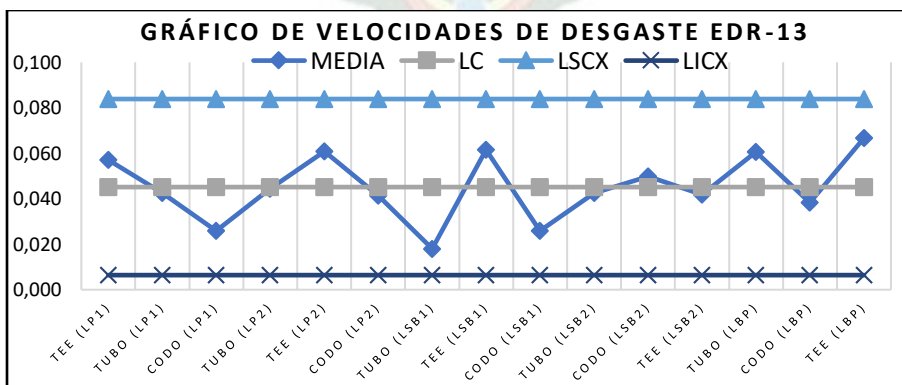
Fuente: Elaboración Propia.

- EDR 13

Las gráficas de las medias de velocidad de desgaste y rangos, se realizaron en base a los datos del Anexo D, las dos graficas se encuentran bajo control estadístico.

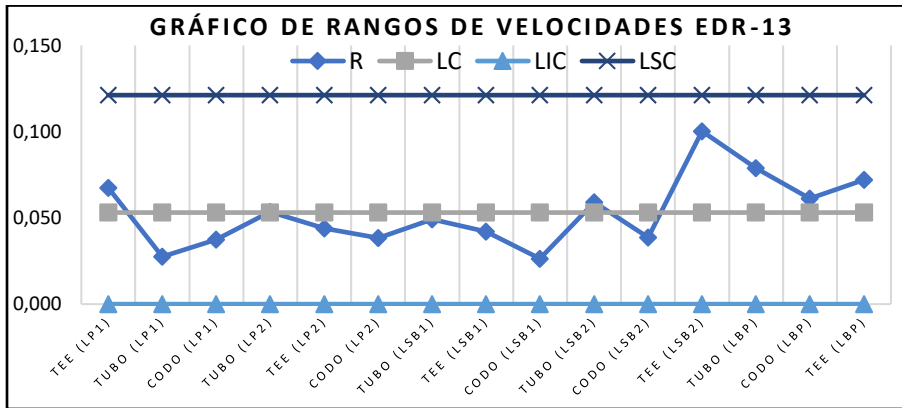
La Figura 4-37 muestra la variabilidad de las medias de las velocidades de desgaste por corrosión, se tiene una media de velocidad de la EDR de 0.045 (mm/año). El objeto con mayor velocidad de desgaste es la tee que se encuentra en la línea By Pass, con el valor de 0,067 (mm/año).

Figura 4-37 Medias de las velocidades de desgaste EDR 13.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4-38 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 13.



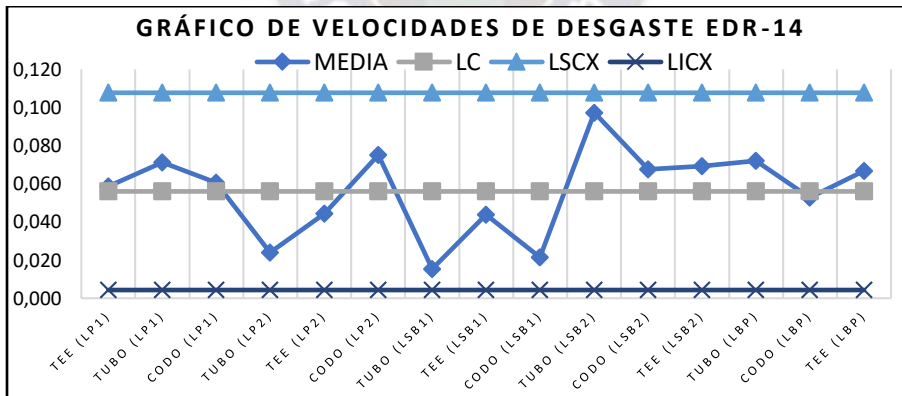
Fuente: Elaboración Propia.

El rango medio de las velocidades de desgaste de la EDR es 0,053 (mm/año). El mayor rango se encuentra en la tee (ver Figura 4-38) que se ubica en la línea Stand By de regulación (después del regulador) con un valor de 0,100 (mm/año). Los valores están dispersos, por lo tanto, los rangos no son homogéneos.

- EDR 14

Las gráficas se encuentran bajo control estadístico, debido a que no hay ningún valor medio que este fuera de los límites de control. Las gráficas fueron construidas en base a los valores calculados en función a los espesores y tabulados en el Anexo D.

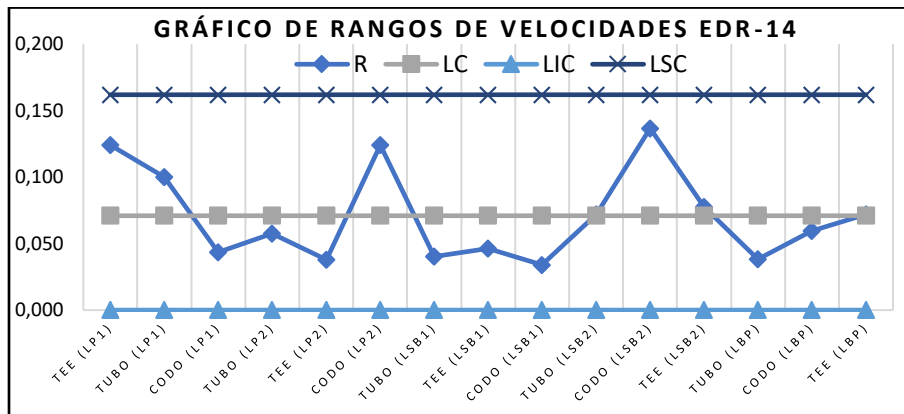
Figura 4-39 Medias de las velocidades de desgaste EDR 14.



Fuente: Elaboración Propia.

La media de la velocidad de desgaste de la EDR es 0,056 (mm/año). El valor más alto de velocidad de desgaste es 0,097 (mm/año), pertenece al tubo ubicado en la línea Stand By de regulación (aguas abajo del regulador), por lo tanto, se debe tener mayor cuidado en ese objeto y en los demás que le siguen con velocidades altas de desgaste. Se ve en la Figura 4-39 la variabilidad de las velocidades de desgaste, todas se encuentra dispersas respecto al límite central.

Figura 4-40 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 14.



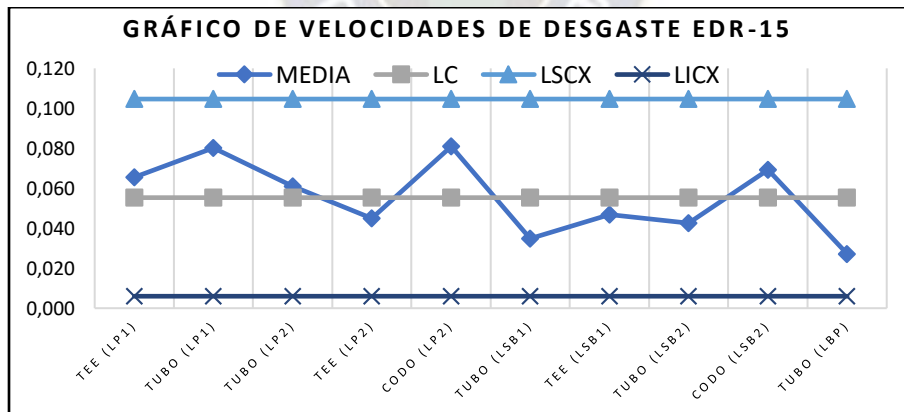
Fuente: Elaboración Propia.

El rango medio de las velocidades de desgaste por corrosión de la EDR es 0,071 (mm/año) y el objeto con mayor rango entre sus valores de velocidad es el codo ubicado en línea Stand By de regulación (aguas debajo del regulador) como se puede ver en la Figura 4-40, tiene el valor de 0,137 (mm/año). Los rangos se encuentran dispersos, por lo tanto, no son homogéneos.

- EDR 15

Las gráficas que se presentan a continuación están realizadas en base al Anexo D. Las dos graficas se encuentran bajo control estadístico.

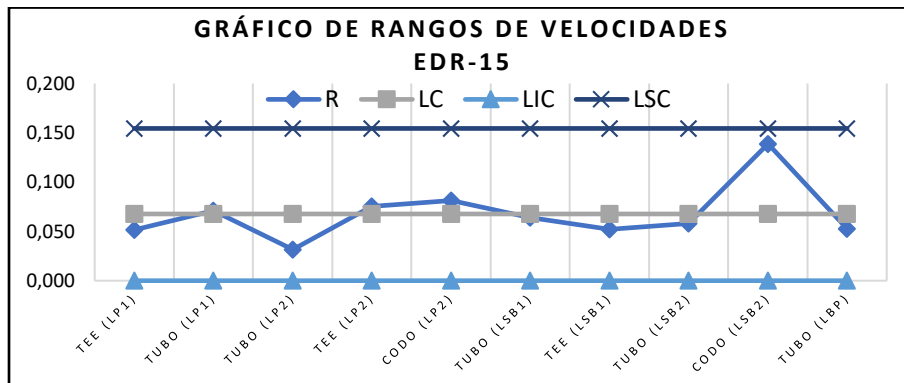
Figura 4-41 Medias de las velocidades de desgaste EDR 15.



Fuente: Elaboración Propia.

La velocidad media de desgaste de la EDR es 0,055 (mm/año), el objeto con mayor velocidad de desgaste es el codo que se encuentra ubicado en la línea principal de regulación (aguas debajo del regulador) como se ve en la Figura 4-41, tiene el valor de 0,081 (mm/año). Los valores se encuentran dispersos, sin embargo, ninguna de las velocidades de desgaste se encuentra por encima del límite de control superior.

Figura 4-42 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 15.



Fuente: Elaboración Propia.

Los rangos graficados en la Figura 4-42 se encuentran homogéneos a excepción de dos valores. La media de los rangos de las velocidades de desgaste de la EDR es 0,068 (mm/año) y el rango mayor se encuentra en el codo ubicado en la línea Stand By de regulación (aguas debajo del regulador) con el valor de 0,139 (mm/año).

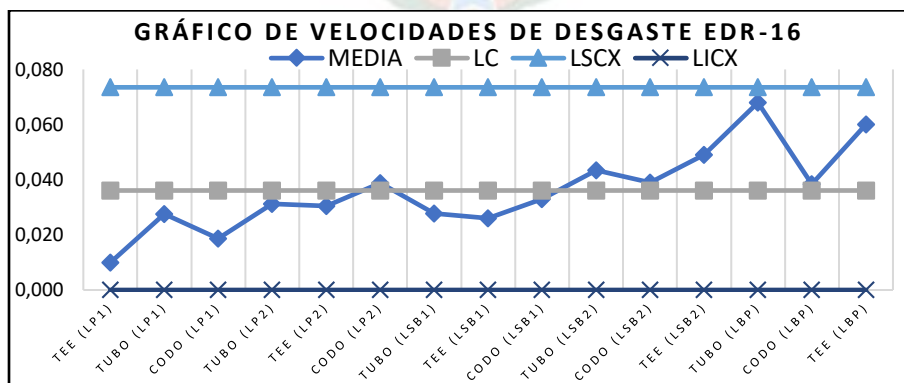
- EDR 16

La media de la velocidad de desgaste por corrosión interna de esta EDR es 0,036 (mm/año). En la gráfica construida con los datos del Anexo D, se puede identificar dos objetos que tienen altas velocidades de desgaste, sin embargo, no están por encima del límite de control superior, un tubo y una tee (ver Figura 4-43), las cuales pertenecen a la línea By Pass de regulación. El tubo mencionado tiene un valor de velocidad de desgaste de 0,068 (mm/año), es el objeto más crítico de toda la EDR.

En la Figura 4-44 podemos ver 2 puntos consecutivos fuera del límite del valor de 1 sigma, los rangos son dispersos y existe una gran diferencia entre un valor mínimo y máximo. Por lo tanto, no es homogénea. La media de rango de la EDR es 0,051 (mm/año).

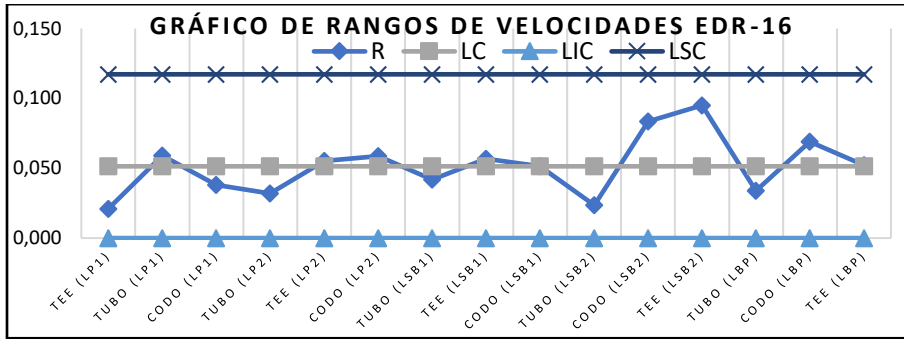
Por todo lo expuesto y observado, las gráficas no se encuentran bajo control estadístico.

Figura 4-43 Medias de las velocidades de desgaste EDR 16.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4-44 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 16.

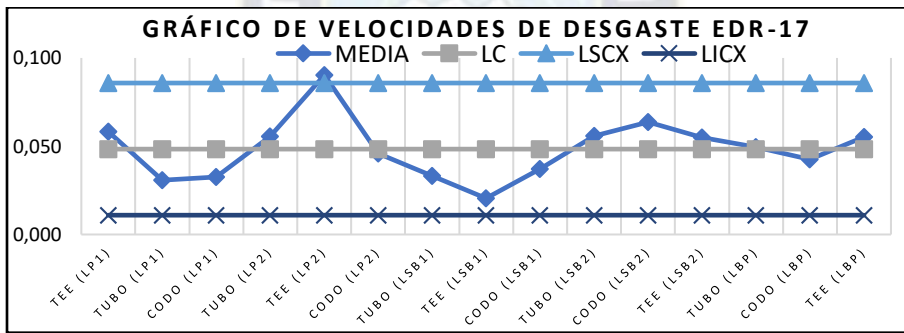


Fuente: Elaboración Propia.

- EDR 17

Las gráficas de control mostradas a continuación están construidas en base a valores del Anexo D, la gráfica de las velocidades medias de desgaste se encuentra fuera de control estadístico, en cambio, la gráfica de los rangos se encuentra dentro de los límites de control.

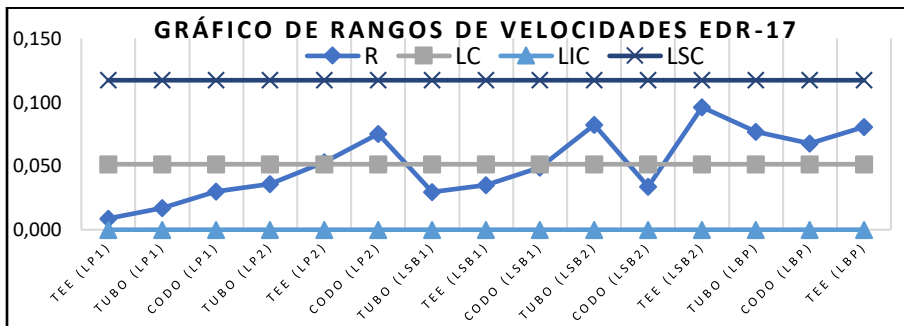
Figura 4-45 Medias de las velocidades de desgaste EDR 17.



Fuente: Elaboración Propia.

El valor de la media de las velocidades de desgaste por corrosión de la EDR es 0,048 (mm/año). La velocidad crítica de desgaste se encuentra en la línea principal de regulación (ver Figura 4-45), tiene el valor de 0,090 (mm/año), en la tee (aguas abajo del regulador).

Figura 4-46 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 17.



Fuente: Elaboración Propia.

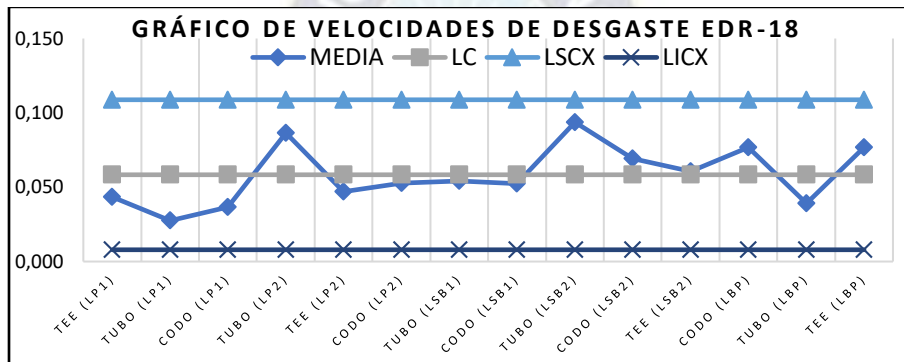
El rango con mayor dispersión pertenece a un objeto que se encuentra en línea Stand By de regulación (ver Figura 4-46), tiene un valor de 0,096 (mm/año). El rango promedio de la velocidad de desgaste de la EDR es 0,051 (mm/año).

- **EDR 18**

Las gráficas de las medias de velocidad de desgaste y rangos, se realizaron en base a los datos del Anexo D, las dos graficas se encuentran bajo control estadístico.

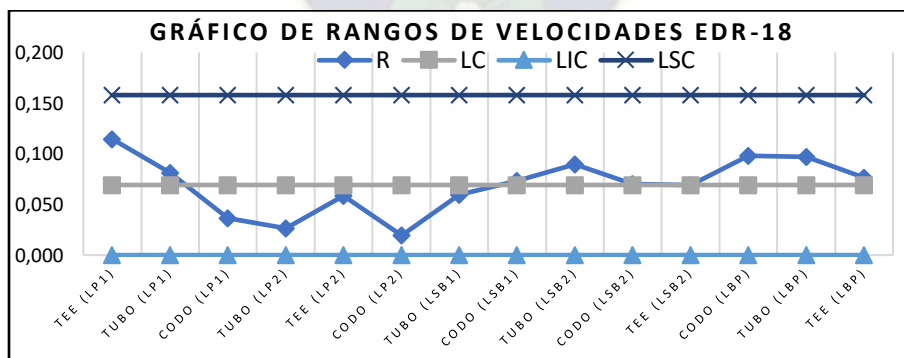
La Figura 4-47 muestra la variabilidad de las medias de las velocidades de desgaste por corrosión, se tiene una media de la EDR de 0.058 (mm/año). El objeto con mayor velocidad de desgaste es el tubo que se encuentra en la línea Stand By de regulación, con el valor de 0,094 (mm/año).

Figura 4-47 Medias de las velocidades de desgaste EDR 18.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4-48 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 18.



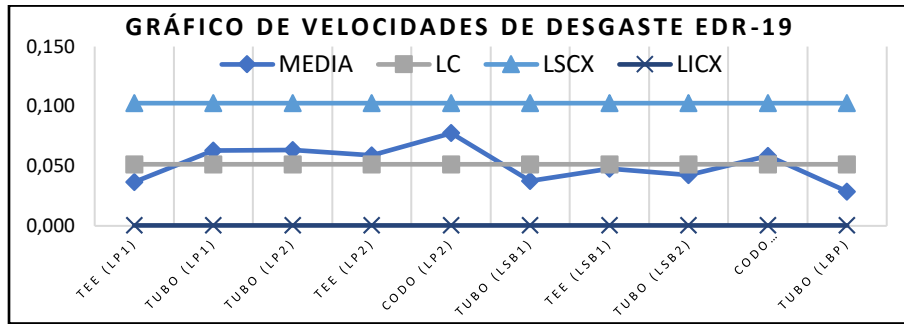
Fuente: Elaboración Propia.

El rango medio de las velocidades de desgaste de la EDR es 0,069 (mm/año). El mayor rango se encuentra en la tee (ver Figura 4-48) que se ubica en la línea principal de regulación (aguas arriba del regulador) con un valor de 0,115 (mm/año). Los valores están dispersos, por lo tanto, los rangos no son homogéneos.

- **EDR 19**

Las gráficas construidas a continuación se realizaron en base al Anexo D.

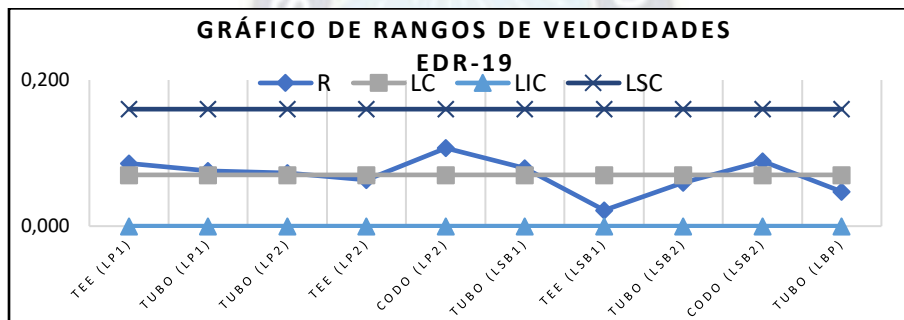
Figura 4-49 Medias de las velocidades de desgaste EDR 19.



Fuente: Elaboración Propia.

En esta EDR los objetos con velocidad crítica se encuentran en la línea principal de regulación (ver Figura 4-49). El objeto (codo) se encuentra aguas abajo del regulador con el valor de 0,078 (mm/año). El valor de la media de velocidad de corrosión de la EDR es 0,052 (mm/año). Todos los valores se encuentran bajo control estadístico.

Figura 4-50 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 19.

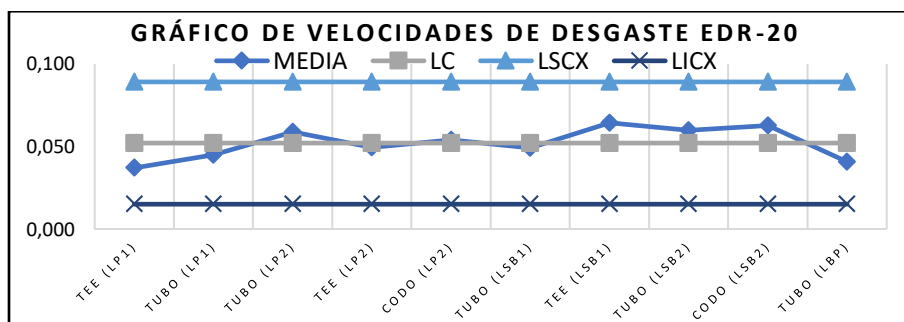


Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 4-50 muestra la variabilidad entre los rangos de los objetos. El codo que se encuentra en la línea principal presenta el rango con mayor dispersión con el valor de 0,107 (mm/año). El límite central de los rangos es 0,070 (mm/año). Todos los valores se encuentran bajo control estadístico.

- EDR 20

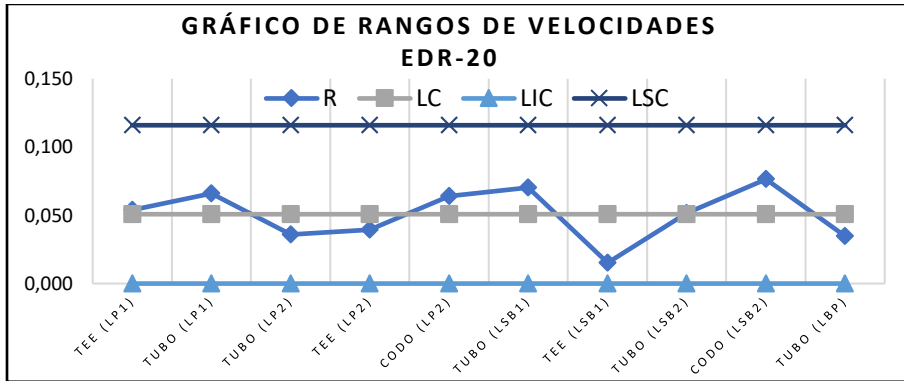
Figura 4-51 Medias de las velocidades de desgaste EDR 20.



Fuente: Elaboración Propia.

La velocidad media de la EDR es 0,052 (mm/año). Como se ve en la Figura 4-51 el objeto con mayor velocidad de desgaste es la tee que se encuentra en la línea Stand By de regulación (aguas arriba del regulador) con el valor de 0,064 (mm/año). Todos los valores están dentro de los límites de control.

Figura 4-52 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 20.



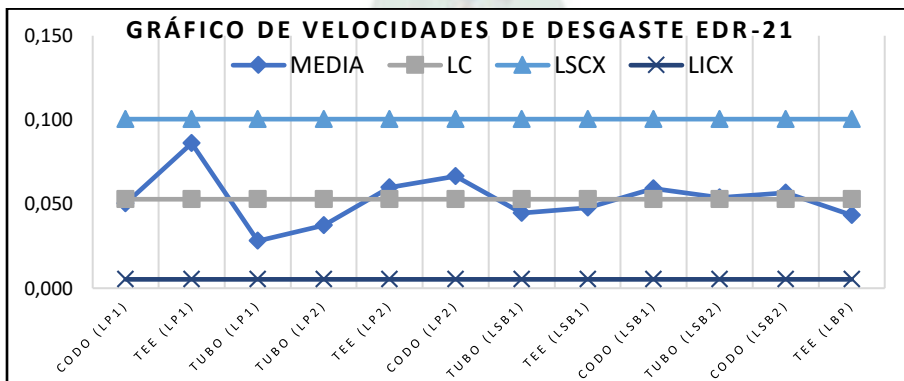
Fuente: Elaboración Propia.

Los rangos de las velocidades de desgaste no son homogéneos (ver Figura 4-52). El codo que pertenece a la línea Stand By de regulación (aguas abajo del regulador) presenta el rango con mayor dispersión con el valor de 0,076 (mm/año). El límite central es 0,051 (mm/año). Los valores no están fuera de los límites de control, por lo tanto, la gráfica se encuentra bajo control estadístico.

- EDR 21

Las gráficas de control mostradas a continuación están construidas en base a valores del Anexo D, las dos graficas se encuentran bajo control estadístico.

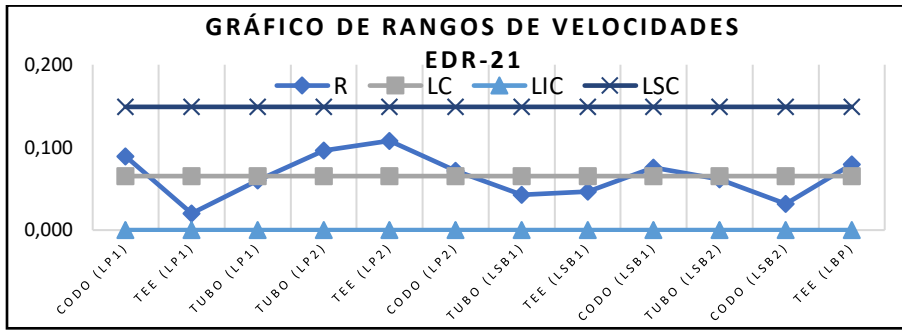
Figura 4-53 Medias de las velocidades de desgaste EDR 21.



Fuente: Elaboración Propia.

El valor de la media de la velocidad de desgaste por corrosión de la EDR es 0,053 (mm/año). La velocidad crítica de desgaste se encuentra en la línea principal de regulación (ver Figura 4-53), tiene el valor de 0,086 (mm/año), en la tee (aguas arriba del regulador).

Figura 4-54 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 21.



Fuente: Elaboración Propia.

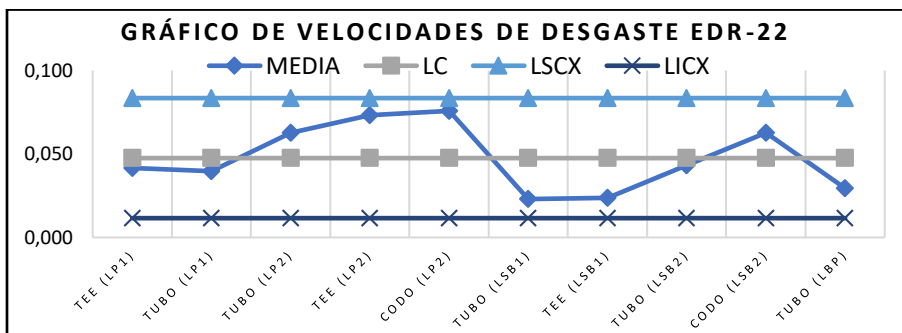
El rango promedio de la velocidad de desgaste de la EDR es 0,065 (mm/año). El rango con mayor dispersión pertenece a un objeto que se encuentra en línea principal de regulación (ver Figura 4-54), tiene un valor de 0,108 (mm/año), se trata de una tee ubicada aguas abajo del regulador.

- EDR 22

La media de la velocidad de desgaste por corrosión interna de esta EDR es 0,048 (mm/año). En la gráfica construida con los datos del Anexo D, se puede identificar dos objetos que tienen altas velocidades de desgaste, sin embargo, no están por encima del límite de control superior, una tee y un codo (ver Figura 4-55), las cuales pertenecen a la línea principal de regulación. El codo mencionado tiene un valor de velocidad de desgaste de 0,076 (mm/año), es el objeto más crítico de toda la EDR, se encuentra aguas debajo del regulador. En la Figura 4-56 podemos ver que los rangos son dispersos y existe una gran diferencia entre un valor mínimo y máximo. Por lo tanto, no es homogénea. La media de rango de la EDR es 0,049 (mm/año). El objeto que tiene mayor rango de velocidad de desgaste es el tubo que se encuentra en la línea Stand By de regulación (aguas debajo del regulador) con el rango de 0,091 (mm/año).

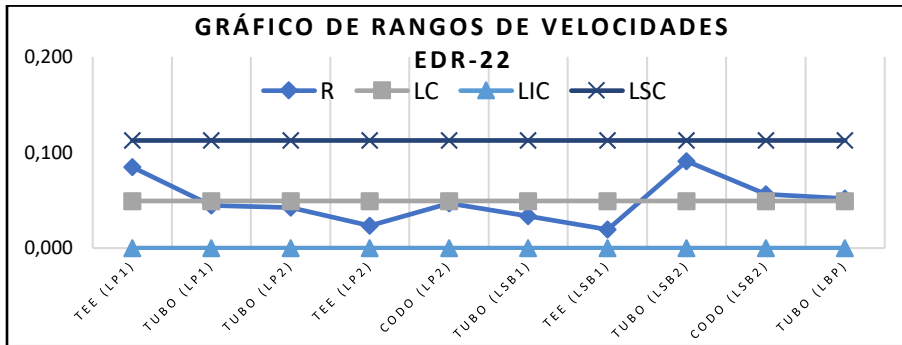
Por todo lo expuesto y observado, las gráficas se encuentran bajo control estadístico.

Figura 4-55 Medias de las velocidades de desgaste EDR 22.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4-56 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 22.

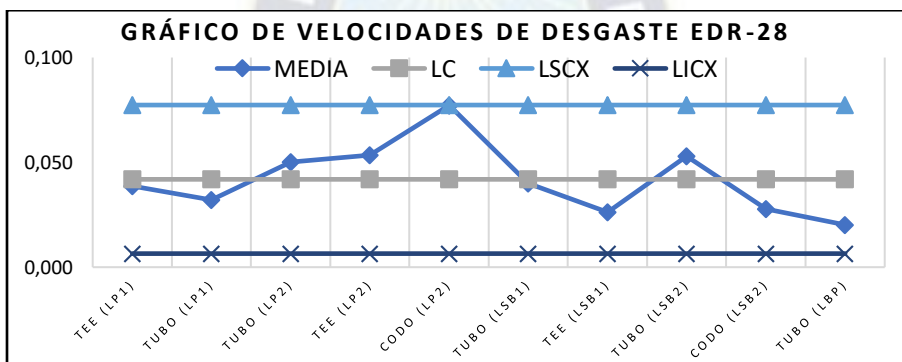


Fuente: Elaboración Propia.

- EDR 28

Las gráficas que se presentan a continuación están realizadas en base al Anexo D. Las dos graficas se encuentran bajo control estadístico.

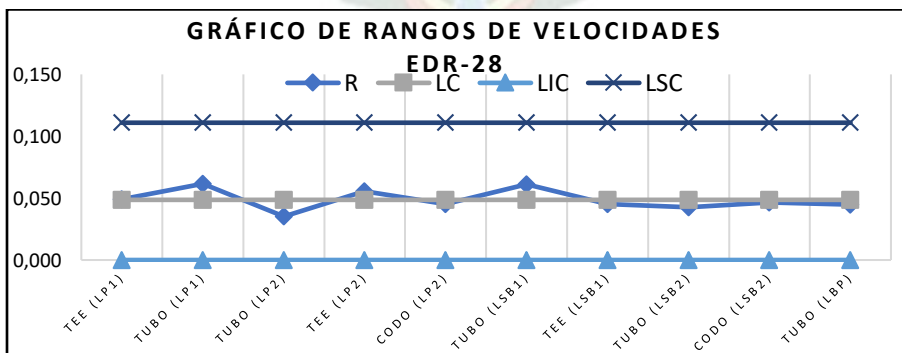
Figura 4-57 Medias de las velocidades de desgaste EDR 28.



Fuente: Elaboración Propia.

El valor de la media de la velocidad de desgaste por corrosión de la EDR es 0,042 (mm/año). La velocidad crítica de desgaste se encuentra en la línea principal de regulación (ver Figura 4-57), tiene el valor de 0,077 (mm/año), en el codo (aguas debajo del regulador).

Figura 4-58 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 28.



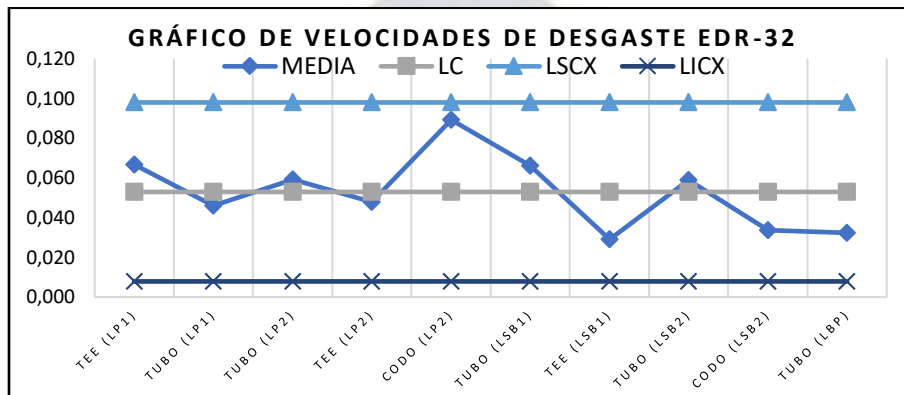
Fuente: Elaboración Propia.

El rango promedio de la velocidad de desgaste de la EDR es 0,049 (mm/año). El rango con mayor dispersión pertenece a un objeto que se encuentra en línea principal de regulación (ver Figura 4-58), tiene un valor de 0,062 (mm/año), se trata de un tubo ubicada aguas arriba del regulador.

- **EDR 32**

Las gráficas de control mostradas a continuación están construidas en base a valores del Anexo D, las gráficas de las velocidades medias de desgaste y rangos se encuentra dentro de los límites de control.

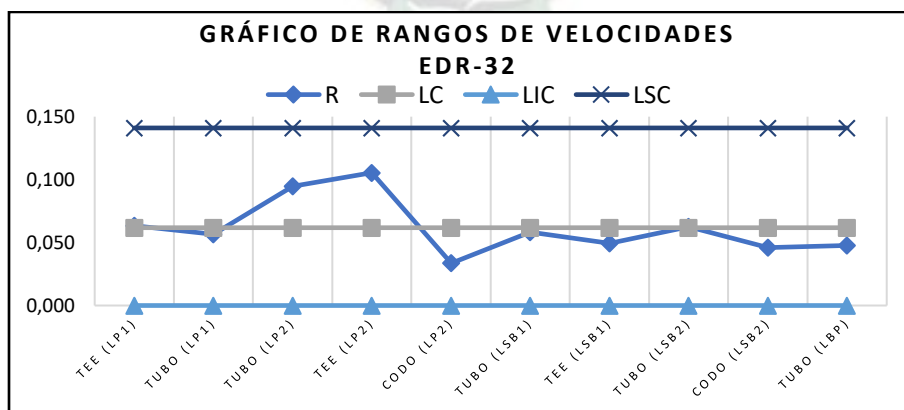
Figura 4-59 Medias de las velocidades de desgaste EDR 32.



Fuente: Elaboración Propia.

El valor de la media de las velocidades de desgaste por corrosión de la EDR es 0,053 (mm/año). La velocidad crítica de desgaste se encuentra en la línea principal de regulación (ver Figura 4-59), tiene el valor de 0,089 (mm/año), en el codo (aguas abajo del regulador).

Figura 4-60 Rangos de las velocidades de desgaste EDR 32.



Fuente: Elaboración Propia.

El rango con mayor dispersión pertenece a un objeto que se encuentra en línea principal de regulación (ver Figura 4-60), tiene un valor de 0,105 (mm/año). El rango promedio de la velocidad de desgaste de la EDR es 0,062 (mm/año).

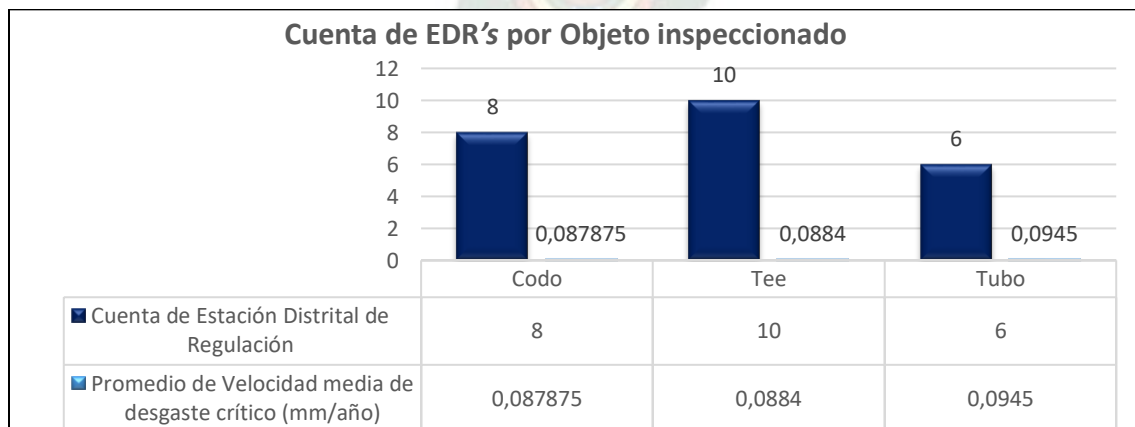
Tabla 4-22 Resumen de velocidades medias de desgaste en EDR's.

<i>Estación Distrital de Regulación</i>	<i>Velocidad media de desgaste crítico (mm/año)</i>	<i>Objeto</i>	<i>Línea de regulación</i>
R-1	0,118	Tee	Principal
R-2	0,085	Codo	Principal
R-3	0,110	Tubo	Principal
R-4	0,125	Codo	Principal
R-5	0,091	Tee	Principal
R-6	0,093	Tee	Principal
R-7	0,092	Codo	Principal
R-8	0,110	Tubo	Stand By
R-9	0,120	Tee	Principal
R-10	0,084	Tee	Principal
R-11	0,088	Tubo	Stand By
R-12	0,071	Tee	Principal
R-13	0,067	Tee	By Pass
R-14	0,097	Tubo	Stand By
R-15	0,081	Codo	Principal
R-16	0,068	Tubo	By Pass
R-17	0,090	Tee	Principal
R-18	0,094	Tubo	Stand By
R-19	0,078	Codo	Principal
R-20	0,064	Tee	Stand By
R-21	0,086	Tee	Principal
R-22	0,076	Codo	Principal
R-28	0,077	Codo	Principal
R-32	0,089	Codo	Principal

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 4-22 fue elaborado en base a los resultados de velocidades de desgaste promedio de cada objeto de los accesorios y tubería de las EDR's. también se identifican en que líneas de regulación se encuentran los objetos con velocidad de desgaste alta (crítica).

Figura 4-61 Cantidad de EDR's por objetos inspeccionados con velocidades medias de desgaste críticas.



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 4-61 fue elaborada en base a los resultados de la Tabla 4-22. Se puede observar que el accesorio que tiene mayor frecuencia de velocidad media de desgaste crítica, es la tee seguida por el codo y finalmente con los tubos. En 10 EDR's se tiene que una tee con velocidad de desgaste alta, en 8 EDR's se tiene a un codo como objeto critico debido a su velocidad y el 6 EDR's se tiene a un tubo como el objeto con mayor velocidad de desgaste. En los accesorios se debe tener mayor control de desgaste por corrosión.

En 17 estaciones distritales de regulación el objeto inspeccionado con mayor velocidad de desgaste a corto plazo, se encuentra en la línea de regulación principal, 5 objetos se encuentran en la línea Stand By de regulación y en 2 EDR's se encuentra el objeto critico inspeccionado.

La mayor velocidad de desgaste se encuentra en la EDR 4 con el valor de 0,125 (mm/año), se encuentra en un codo ubicado en la línea principal de regulación.



CAPÍTULO V

5. ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

En este capítulo se realiza un análisis de los costos invertidos en el proyecto y no así el uso de indicadores como el VAN y el TIR, debido a que es una propuesta de evaluación de corrosión, por lo tanto, no es un procedimiento que se realice cada cierto periodo de tiempo como ser lapsos de un año.

Dentro de los costos, tomaremos en cuenta los ítems más relevantes y notables para obtener el costo de la ejecución del proyecto, recalcando que este no es un proyecto de factibilidad, sino más bien estadístico – evaluativo.

Estamos detallando 3 tipo de costo: de los equipos requeridos, del personal que se necesita y uno de otros costos donde se detallan costos de transporte y materia de escritorio.

5.1 Costos directos.

El costeo directo es una forma de análisis de costos que usa solo los costos variables para tomar decisiones. No considera los costos fijos, ya que se asume que están asociados con el momento en el que incurrieron.

El concepto de costeo directo es extremadamente útil para tomar decisiones a corto plazo, pero puede llevar a resultados nocivos si se utiliza para la toma de decisiones a largo plazo, ya que no incluye todos los costos que se deben aplicar en una decisión a mayor plazo.

El costeo directo (de materiales y mano de obra) consiste en ofrecer rápidamente una visión general para poder realizar un cálculo de costos o un indicador de costos.³⁹

5.1.1 Costos de equipos.

Dentro de estos se encuentra el equipo de medición ultrasónica utilizado DM5E con sus respectivos accesorios. Se consiguió dos cotizaciones para conocer el precio del equipo, las mismas se encuentran a detalle en el **Anexo E**, los precios se encuentran en bolivianos, se tomó el cambio de 1 dólar = 6,90 Bs.

Tabla 5-1 Precio ofertado del equipo DM5E (Helios Precisión)

<i>Ítem</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo Unitario (Helios Precisión) (USD)</i>	<i>Costo Total (Helios Precisión) (USD)</i>
Medidor Digital Ultrasónico DM5E	1	3.896,0	3.896,0
Transductor, 7,5 MHz, rango de 0,6 a 60 mm (acero)	1	919,3	919,3
Bloque calibrador de 5 pasos	1	745,7	745,7
Total, Equipo (USD)			5.560,9

Fuente: Helios Precisión (2021)

³⁹ (Helmut Sy Corvo, 2021)

Tabla 5-2 Precio ofertado del equipo DM5E (Measurement & Control Solutions Corp.)

<i>Ítem</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo Unitario (Measurement & Control Solutions Corp.) (USD)</i>	<i>Costo Total (Measurement & Control Solutions Corp.) (USD)</i>
Medidor Digital Ultrasónico DM5E	1	2.481,6	2.481,6
Transductor, 7,5 MHz, rango de 0,6 a 60 mm (acero)	1		
Bloque calibrador de 5 pasos	1	532,8	532,8
Total, Equipo (USD)			3.014,4

Fuente: Helios Precisión (2021)

Como vemos en las tablas, nos sale más económico realizar la adquisición de la empresa de Estados Unidos *Measurement & Control Solutions Corp.*, cabe recalcar que en el detalle de costo de los equipos se sumó el costo del envío hasta nuestro país.

La oferta de Helios Precisión es 23% más elevado que la empresa estadounidense, por lo tanto, no se toma en cuenta su oferta en nuestro análisis.

Otros de los equipos tomados en cuenta son los equipos de oficina como ser el equipo de computación para poder tratar los datos obtenidos en campo y la impresora para poder imprimir los formularios para ir a terreno y realizar las mediciones e imprimir el informe de la evaluación realizada.

Tabla 5-3 Detalle de costos de equipos en dólares.

<i>Concepto</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo Unitario (USD)</i>	<i>Costo Total (USD)</i>
Medidor Digital Ultrasónico DM5E	1	2.481,6	2.481,6
Transductor, 7,5 MHz, rango de 0,6 a 60 mm (acero)	1		
Bloque calibrador de 5 pasos	1	532,8	532,8
Equipo de computación	1	1.000,0	1.000,0
Impresora	1	289,9	289,9
Total, Equipos (USD)			4.304,2

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2 Costos en el personal.

El personal necesario es un supervisor que tenga certificación en conocimientos de medición ultrasónica y dos operadores para que realicen la inspección en todas las estaciones distritales de regulación bajo el control y asesoramiento del supervisor. Por lo tanto, los dos operadores trabajarán más horas. Por lo mismo se está dando un estimado de 30 días de trabajo para el supervisor y 60 días para cada uno de los operadores, ya que incluso en algunas ocasiones se debe volver a ir a campo para corroborar medidas que se encuentran fuera control.

Tabla 5-4 Detalle de costos en el personal en dólares.

Concepto	Cantidad	Días de operación	Costo por día (USD)	Costo Total (USD)
Supervisor	1	30	64,3	1.929,4
Operador	2	60	33,8	4.058,0
Sub Total costo personal (USD)				5.987,4
Total, costo personal (USD)				11.974,8

Fuente: Elaboración propia.

Los costos fueron tomados en base a convocatorias laborales. El detalle de costo sub total es considerando la primera inspección, es decir, en el año base 2019, por lo tanto, la total toma en cuenta al año 2019 y 2020, los dos años que se hicieron las inspecciones de ultrasonido.

5.1.3 Costos varios u otros gastos.

Dentro de estos gastos se encuentra el material de escritorio que involucra hojas, tinta, lápices, bolígrafos, pilas para el equipo ultrasónico, entre otros. También el gasto estimado del transporte para los operadores y supervisor que sumando serían 150 viajes para sacar el presupuesto para transporte de los dos operadores y del supervisor. Los mismos también son considerados costos variables.

Tabla 5-5 Detalle de otros gastos en dólares.

Concepto	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
Material de escritorio	2	87,0	173,9
Transporte	150	4,3	652,2
Total, otros (USD)			826,1

Fuente: Elaboración propia.

Se inspeccionaron de 2 a 3 estaciones de regulación por día, sin embargo, en algunos casos se tuvo que volver a las mismas para comprobar medidas que no fueron confiables. La Tabla 5-5 muestra los costos incurridos en los 2 años de inspección.

5.2 Análisis Costo-Beneficio

Relación Beneficio Costo (B/C). -Genera un comparativo de los ingresos y costos a valor actualizado, con la finalidad de obtener un resultado que determine cuánto cuesta la inversión y así tener mejores resultados durante esta. Cabe destacar que se actualizan los ingresos y costos, y después de hacer el cálculo, se espera un rendimiento mayor.⁴⁰

Si la relación es uno o superior a uno se acepta el proyecto, y si la corriente se actualiza al costo de oportunidad del capital.

$$B/C = \frac{\text{Ingresos}}{\text{Costos}} \quad (5-1)$$

⁴⁰ (ESAN Graduate School of Business, 2020)

El valor de Costos totales lo obtenemos de la siguiente manera:

$$\text{Costo total} = \text{equipos} + \text{personal} + \text{otros} \quad (5-2)$$

$$\text{Costo total} = (4.304,2 + 11.974,8 + 826,1)(\text{USD})$$

$$\text{Costo total} = 17.105,1(\text{USD})$$

El valor de ingresos se obtiene del programa anual de contrataciones de YPF B.

$$\text{Ingresos} = 250.000,0 (\text{Bs.})^{41} = 36.231,9(\text{USD})$$

Se tomo el cambio de 1 (USD)=6,90 (Bs.). Dentro del PAC se encuentra como objeto de contratación "*Mantenimiento en EDR, ciudad de El Alto*". (ver **Anexo F**)

Finalmente, reemplazamos valores en la ecuación (5-1):

$$B/C = \frac{36.231,9(\text{USD})}{17.105,1(\text{USD})} = 2,1$$

Se puede observar que el valor es mayor a 1, por lo tanto, por cada 1 (USD) que se gasta se obtiene 2,1 (USD). El proyecto es rentable porque de ser adjudicado el proyecto propuesto se tendría una ganancia de más del total invertido. Al ser un método sencillo, es razonable el resultado obtenido en la relación costo-beneficio.

⁴¹ Programa Anual de Contrataciones, YPF B (2019)

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- En la parte teórica se dio a conocer los tipos de ensayos no destructivos existentes y también el método de inspección ultrasónica, sus características, ventajas y desventajas en la evaluación de desgaste en tuberías. Básicamente este tipo de inspección nos ayuda a evaluar la corrosión interna de los objetos inspeccionados, mediante la medición de espesores en puntos determinados.
- Dentro de los datos recogidos aparte de los espesores, se registró la presión de operación en cada línea de regulación aguas arriba y aguas debajo de la válvula reguladora.
- Se revisó las especificaciones internacionales y los pasos recomendados principalmente el código de inspección de tuberías (inspección, reparación, alteración e integridad de sistemas de tubería) API 570, se tomó consideraciones iguales para los accesorios y tuberías. Así también se revisó normativa nacional como los anexos del Decreto Supremo 1996 (Anexo III: Operación y Mantenimiento de Redes de Gas Natural, Anexo VII: Estaciones Distritales de Regulación) y procedimientos realizados por Y.P.F.B. para la inspección ultrasónica.
- Se calibró y manipuló de forma adecuada el equipo de medición de espesores ultrasónico de acuerdo a las recomendaciones y su respectivo catálogo, contando con la previa capacitación y supervisión de ingenieros capacitados en el tema.
- Se realizó la evaluación y análisis del grado de corrosión de las 3 líneas de cada uno de las EDR's que se encuentran en la Ciudad de El Alto mediante el método de inspección por ultrasonido, en las gestiones 2019 y 2020.
- Con los datos de espesores medidos se calculó la velocidad de desgaste y los años de vida restante de cada uno de los accesorios y tuberías de cada línea, se escogió la más crítica para realizar posteriormente otra inspección.
 - El análisis mostro que la línea con menos años de vida útil es la línea de regulación principal (36,3 años) que se encuentra en operación constante, seguida por la línea de regulación Stand By (41,2 años) y finalmente la línea de By Pass (53,6 años).
 - La marca Francel es las que tiene menor cantidad de vida útil (31,4 años), esto se debe a que es la marca más antigua dentro de las EDR's que se encuentran en operación. La que le sigue es la marca Armec (32,3 años), cuyas capacidades son de 2000 (m³/h).

- Según la capacidad que tienen las EDR's, la menor cantidad de vida útil las tienen las de capacidad 1000 (m³/h), con 33,7 años.
 - Si bien el análisis con los pasos propuestos y las consideraciones tomadas son morosas, la evaluación es minuciosa y podemos confiar de los resultados obtenidos.
- También se realizó un análisis estadístico de las velocidades de desgaste para saber el promedio, límites inferior y superior para ver si se encuentran bajo control y que puntos se encuentran sobre los límites en especial superior, nos sirvió para saber en qué grado se desgasta la tubería o accesorio en un periodo de tiempo, en este caso en el lapso de un año.
- Se observa que las velocidades de desgaste más elevadas evaluadas en un año, se presentan en tuberías o accesorios que se encuentran en su mayoría en la línea principal de regulación después de la regulación a excepción de algunos que se encuentran en las otras dos líneas de regulación. Esto se debe a que la línea principal se encuentra operando frecuentemente, seguida de la Stand By y por último en caso de emergencia la By Pass que se la regula de manera manual.
 - Se puede concluir que el accesorio que tiene mayor frecuencia de velocidad media de desgaste crítica es, la tee (10 EDR's), seguida por el codo (8 EDR's) y finalmente con los tubos (6 EDR's). Sin embargo, en el promedio, el tubo tendría mayor velocidad de desgaste (0,0945 mm/año).

6.2 Recomendaciones

Se recomienda tomar las consideraciones necesarias para realizar una medición confiable, una de ellas es calibrar el equipo y manipular de forma correcta el transductor, otra es aplicar el lugar donde se mide el espesor de pared, es una zona que comprende un círculo de 1,5" por lo menos de diámetro donde se efectúan las mediciones resultando un valor promedio en función a la cantidad de valores medidos.

Para tener un control eficiente del grado de corrosión en las líneas de las estaciones distritales de regulación, se recomienda inspeccionar en ciertos intervalos de tiempo con el mismo procedimiento u otro más eficiente que vaya en la misma línea del procedimiento tomado, para evitar empezar de año cero o base.

Según el código API 570, diferencia 3 clases de servicios de tuberías, las tuberías y accesorios se encuentran en la clase 1, por lo tanto, se recomienda una inspección en un periodo de 5 años debido a la peligrosidad y riesgos que representa una posible fuga en el sistema. La otra opción es realizar la inspección en todas las estaciones de regulación al mismo tiempo, tomando en cuenta el valor crítico que es el intervalo de 11 años.

Se recomienda siempre escoger el caso más crítico de todos los datos y valores calculados porque será el que tengamos que cuidar más, por ello se escoge los años de vida útil más bajo de entre las líneas, tuberías y accesorios.

se recomienda tener más cuidado en esos objetos como tees de derivación y codos, conforme a los datos hallados y análisis realizado, se observó que existe mayor velocidad de corrosión en las mismas, se debe a que se tiene colisiones de flujo de gas contra las paredes de los accesorios mencionados.

Debido a que las estaciones distritales de regulación están compuestas también por filtros, se recomienda realizar la inspección en los recipientes donde son alojados los filtros, tomando las consideraciones necesarias, podría usarse el mismo método de ultrasonido.



BIBLIOGRAFÍA

- /1/ API 570. (2016). Piping Inspection Code: In-service Inspection, Rating, Repair, and Alteration of Piping Systems.
- /2/ ASM International, (2003). Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection (9th ed) www.asminternational.org/documents/10192/22533690/06494G
- /3/ ASME B31.8. (2016). Sistema de tuberías de distribución y transporte de gas.
- /4/ ASME B31G. (2012). Manual para la determinación de la resistencia remanente de tuberías corroídas.
- /5/ Baker Hughes Digital Solutions. (2010). DM5E for the Oil & Gas Industry. YouTube. www.youtube.com/watch?v=5J99vIEND5A.
- /6/ Catalogo Medidor de Espesores DM5E
- /7/ Decreto Supremo 1996. (2014). Gaceta Oficial.
- /8/ END PERU S.A.C. (2015). Endperu.com. www.endperu.com/
- /9/ Equipo de Protección Personal (EPP) – Protección Auditiva. (2016). ECOSEG Consultores Ambientales; ECOSEG Consultores Ambientales. <https://ecoseg.org/2016/06/24/epp-proteccion-auditiva/>
- /10/ García, J. (2017). Medidor por ultrasonidos PT-UTG M. Pce-iberica.es. www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-espesores/medidor-ultrasonido-pt-utg.htm
- /11/ Minchola, G. Ultrasonido Industrial. www.tecnologiatotal.net/online/ultrasonido/ultrasonido-industrial
- /12/ Peña, I. (2014). Estudio y cuantificación de la corrosión en aceros de refuerzo y galvanizado. Facultad de Ingeniería UNAM.
- /13/ Radiografía Industrial. (2020). Inspeqingenieria.com. www.inspeqingenieria.com/esp/index.php/radiografia-industrial
- /14/ Rodríguez, J. (2013). Manual de procedimiento para la supervisión en la aplicación de ensayos no destructivos (END) para tuberías de acero al carbono. Facultad de Ingeniería Industrial UNAM.
- /15/ Sanabria, D. (2018). Evaluación y análisis de riesgo por corrosión de un ducto de acero mediante inspección por ultrasonido. Facultad de Química UNAM.
- /16/ SERKI (2015). Soluciones en Ensayos No Destructivos. Serki.com.mx. www.serki.com.mx/servicios.php
- /17/ Sigüenza, G. (2017). Código de Inspección en tuberías. Consultoría ITC. www.industrialtijuana.com/pdf/NM-B-06API570.pdf

- /18/ Ultrasonic Transducers for Nondestructive Testing. (2001).
www.wsndt.com/FileUPLoad/DownloadFile/634945477010000000
- /19/ Vázquez, M. (2018). La Corrosión. Editorial de la Universidad Nacional de Mar del Plata. www2.mdp.edu.ar/attachments/article/281/la_corrosion
- /20/ Villanueva, E. (2011). Aplicación de ensayos no destructivos en recipientes sujetos a presión, líquidos penetrantes y ultrasonido. Facultad de estudios superiores Zaragoza UNAM.
- /21/ Y.P.F.B. Redes de Gas (2018). Calibración y guía de medición de espesores.

ANEXOS

Anexo A Tablas del ASME B 31.8

Tabla A-1 Factor de Junta Longitudinal, E.

Spec. No.	Pipe Class	<i>E</i> Factor
ASTM A 53	Seamless	1.00
	Electric-Resistance-Welded	1.00
	Furnace-Butt Welded, Continuous Weld	0.60
ASTM A 106	Seamless	1.00
ASTM A 134	Electric-Fusion Arc-Welded	0.80
ASTM A 135	Electric-Resistance-Welded	1.00
ASTM A 139	Electric-Fusion Arc-Welded	0.80
ASTM A 333	Seamless	1.00
	Electric-Resistance-Welded	1.00
ASTM A 381	Submerged-Arc-Welded	1.00
ASTM A 671	Electric-Fusion-Welded	
	Classes 13, 23, 33, 43, 53	0.80
	Classes 12, 22, 32, 42, 52	1.00
ASTM A 672	Electric-Fusion-Welded	
	Classes 13, 23, 33, 43, 53	0.80
	Classes 12, 22, 32, 42, 52	1.00
ASTM A 691	Electric-Fusion-Welded	
	Classes 13, 23, 33, 43, 53	0.80
	Classes 12, 22, 32, 42, 52	1.00
ASTM A 984	Electric-Resistance-Welded	1.00
ASTM A 1005	Double Submerged-Arc-Welded	1.00
ASTM A 1006	Laser Beam Welded	1.00
API 5L	Electric Welded	1.00
	Seamless	1.00
	Submerged-Arc Welded (Longitudinal Seam or Helical Seam)	1.00
	Furnace-Butt Welded, Continuous Weld	0.60

Fuente: ASME B 31.8 (2010)

Tabla A-2 Factor Básico de Diseño, F

Location Class	Design Factor, <i>F</i>
Location Class 1, Division 1	0.80
Location Class 1, Division 2	0.72
Location Class 2	0.60
Location Class 3	0.50
Location Class 4	0.40

Fuente: ASME B 31.8 (2010)

Tabla A-3 Factor de Disminución de Temperatura, T

Temperature, °F (°C)	Temperature Derating Factor, <i>T</i>
250 (121) or less	1.000
300 (149)	0.967
350 (177)	0.933
400 (204)	0.900
450 (232)	0.867

Fuente: ASME B 31.8 (2010)

Anexo B Control de variables


Tabla de valores de las constantes d2, d3, A2, D3 y D4.

<i>n</i>	<i>d2</i>	<i>A2</i>	<i>d3</i>	<i>D3</i>	<i>D4</i>
2	1,128	1,880	0,853	0,000	3,267
3	1,693	1,023	0,888	0,000	2,575
4	2,059	0,729	0,880	0,000	2,282
5	2,326	0,577	0,864	0,000	2,115
6	2,534	0,483	0,848	0,000	2,004
7	2,704	0,419	0,833	0,076	1,924
8	2,847	0,373	0,820	0,136	1,864
9	2,970	0,337	0,808	0,187	1,816
10	3,078	0,308	0,797	0,223	1,777
11	3,173	0,285	0,787	0,256	1,744
12	3,258	0,266	0,778	0,284	1,716
13	3,336	0,249	0,770	0,308	1,692
14	3,407	0,235	0,763	0,329	1,671
15	3,472	0,223	0,756	0,348	1,652
16	3,532	0,212	0,750	0,640	1,636
17	3,588	0,203	0,744	0,379	1,621
18	3,640	0,194	0,739	0,392	1,608
19	3,689	0,187	0,734	0,404	1,596
20	3,735	0,180	0,729	0,414	1,586
21	3,778	0,173	0,724	0,425	1,575
22	3,819	0,167	0,720	0,434	1,566
23	3,858	0,162	0,716	0,443	1,557
24	3,895	0,157	0,712	0,452	1,540
25	3,931	0,153	0,708	0,459	1,541

Fuente: Presentación Gráficos de Control X-R (2020).

Anexo C Reporte de mediciones y cálculos de la inspección ultrasónica

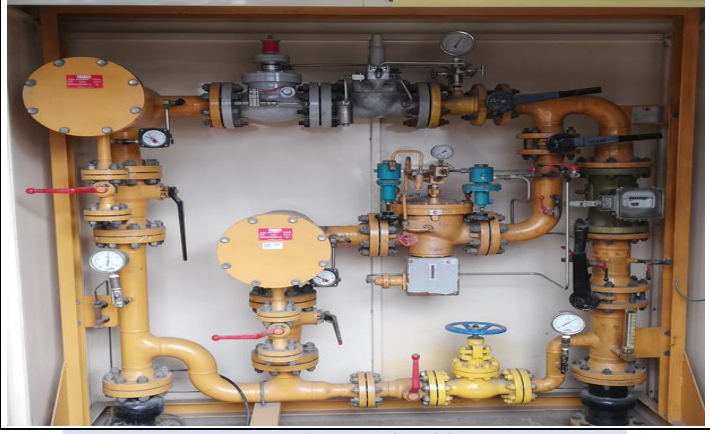
Registro de ensayos de ultrasonido EDR 1.

REGISTRO DE ENSAYO DE ULTRASONIDO MEDICIÓN DE ESPESORES EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS																	
CAPACIDAD:		2000 (m3/h)										EDR-1	EL ALTO				
MARCA:		FRANCEL															
AÑO DE INSTALACIÓN:		1994															
																	
LINEA PRINCIPAL DE REGULACION																	
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)		Medición (n)		t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)	t ant.(mm)	t act.(mm)							
TEE	1	40	5,49	3	350,9	0,891	5,580	5,477	5,325	5,325	0,103	0,176	25,2	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,074	0,096	
	2						5,400	5,325									0,075
	3						5,980	5,804									0,176
TUBO	1	40	5,49	3	350,9	0,891	5,640	5,588	5,440	5,440	0,052	0,140	32,5	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,074	0,096	
	2						5,570	5,563									0,007
	3						5,620	5,539									0,081
	4						5,580	5,440									0,140
TUBO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,930	5,902	5,096	5,096	0,028	0,201	24,5	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,074	0,096	
	2						5,820	5,728									0,092
	3						5,110	5,096									0,014
	4						5,470	5,269									0,201
TEE	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,050	5,026	5,026	5,026	0,024	0,082	59,3	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,074	0,096	
	2						5,100	5,031									0,069
	3						5,250	5,168									0,082
CODO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,820	5,817	5,327	5,327	0,003	0,094	54,9	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,074	0,096	
	2						5,330	5,327									0,003
	3						5,570	5,489									0,081
	4						5,690	5,596									0,094
LINEA STAND BY DE REGULACION																	
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)		Medición (n)		t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)	t ant.(mm)	t act.(mm)							
CODO	1	40	5,49	3	350,9	0,891	4,630	4,542	4,542	4,542	0,088	0,098	37,3	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,076	0,101	
	2						5,640	5,542									0,098
	3						5,510	5,496									0,014
	4						5,460	5,396									0,064
TEE	1	40	5,49	3	350,9	0,891	5,430	5,358	5,128	5,128	0,072	0,132	32,1	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,076	0,101	
	2						5,260	5,128									0,132
	3						5,460	5,358									0,102
CODO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,140	5,088	5,042	5,042	0,052	0,058	84,1	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,076	0,101	
	2						5,600	5,550									0,050
	3						5,100	5,042									0,058
	4						5,530	5,496									0,034
TUBO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,440	5,388	5,234	5,234	0,052	0,152	33,4	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,076	0,101	
	2						5,540	5,388									0,152
	3						5,290	5,234									0,056
	4						5,850	5,734									0,116
LINEA BY PASS DE REGULACION																	
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)		Medición (n)		t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)	t ant.(mm)	t act.(mm)							
TUBO	1	40	3,91	2	60,61	0,103	3,710	3,640	3,026	3,026	0,070	0,084	34,8	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,060	0,087	
	2						3,420	3,364									0,056
	3						3,110	3,026									0,084
	4						3,910	3,864									0,046
CODO	1	40	3,91	2	60,61	0,103	3,330	3,302	3,302	3,302	0,028	0,092	34,8	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,060	0,087	
	2						3,810	3,718									0,092
	3						3,800	3,708									0,092
	4						3,920	3,906									0,014

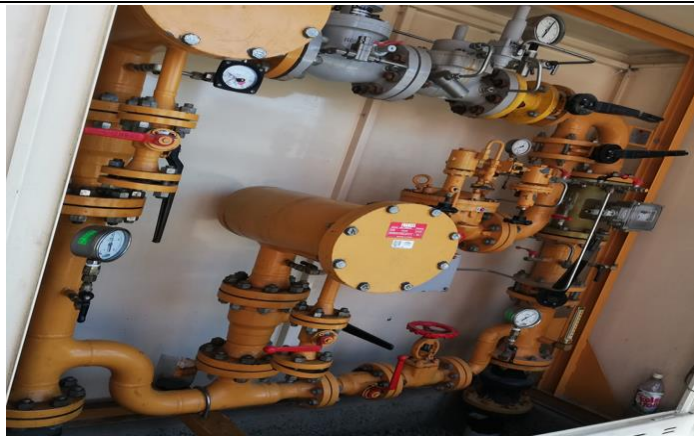
Registro de ensayos de ultrasonido EDR 2.

REGISTRO DE ENSAYO DE ULTRASONIDO MEDICIÓN DE ESPESORES EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS																
CAPACIDAD:		2000 (m3/h)										EDR-2	EL ALTO			
MARCA:		FRANCEL														
AÑO DE INSTALACIÓN:		1994														
																
LINEA PRINCIPAL DE REGULACION																
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)		Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant. (mm)	t act. (mm)								
TEE	1	40	5,49	3	303,05	0,770	5,500	5,428	5,006	5,006	0,072	0,072	58,8	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,056	0,073
	2						5,020	5,006			0,014					
	3						5,370	5,370			0,000					
TUBO	1	40	5,49	3	303,05	0,770	5,320	5,306	5,039	5,039	0,014	0,110	38,8			
	2						5,050	5,039			0,011					
	3						5,430	5,423			0,007					
TUBO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,490	5,380	5,139	5,139	0,110	0,151	33,0	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,056	0,073
	2						5,290	5,139			0,151					
	3						5,471	5,412			0,059					
TEE	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,430	5,413	5,401	5,401	0,017	0,104	50,4			
	2						5,440	5,431			0,009					
	3						5,511	5,407			0,104					
CODO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,439	5,401	5,323	5,323	0,038	0,100	51,6			
	2						5,412	5,406			0,006					
	3						5,450	5,363			0,087					
	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,460	5,394	5,323	5,323	0,066	0,100	51,6			
	2						5,410	5,323			0,087					
	4						5,550	5,450			0,100					
LINEA STAND BY DE REGULACION																
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)		Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant. (mm)	t act. (mm)								
CODO	1	40	5,49	3	303,05	0,770	5,450	5,334	5,242	5,242	0,116	0,116	38,6	LINEA STAND BY DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,05196	0,069
	2						5,490	5,420			0,070					
	3						5,270	5,242			0,028					
TEE	1	40	5,49	3	303,05	0,770	5,470	5,461	5,366	5,366	0,009	0,085	54,1			
	2						5,490	5,405			0,085					
	3						5,403	5,400			0,003					
CODO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,389	5,366	5,042	5,042	0,023	0,064	76,2	LINEA STAND BY DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,05196	0,069
	2						5,393	5,342			0,051					
	3						5,498	5,434			0,064					
TUBO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,460	5,430	5,288	5,288	0,030	0,126	40,7			
	2						5,100	5,042			0,058					
	3						5,460	5,334			0,126					
	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,320	5,288	5,288	5,288	0,032	0,126	40,7			
	2						5,456	5,408			0,048					
	4						5,370	5,334			0,036					
LINEA BY PASS DE REGULACION																
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)		Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant. (mm)	t act. (mm)								
TUBO	1	40	3,91	2	63,8	0,108	3,630	3,600	3,600	3,600	0,030	0,090	38,8	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,05475	0,080
	2						3,930	3,864			0,066					
	3						3,900	3,810			0,090					
CODO	1	40	3,91	2	63,8	0,108	3,800	3,764	3,726	3,726	0,036	0,085	42,6			
	2						3,800	3,726			0,074					
	3						3,918	3,864			0,054					
	1	40	3,91	2	63,8	0,108	3,921	3,918	3,918	3,918	0,003	0,085	42,6			
	2						3,921	3,918			0,003					
	4						3,911	3,826			0,085					


Registro de ensayos de ultrasonido EDR 3.

REGISTRO DE ENSAYO DE ULTRASONIDO MEDICIÓN DE ESPESORES EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS															
CAPACIDAD:		2000 (m3/h)										EDR-3	EL ALTO		
MARCA:		FRANCEL													
AÑO DE INSTALACIÓN:		1995													
															
LINEA PRINCIPAL DE REGULACION															
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición		t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)							
TEE	1	40	5,49	3	343,2	0,872	5,430	5,410	5,334	0,020	0,124	36,0	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,097	0,126
	2						5,458	5,334		0,124					
	3						5,460	5,382		0,078					
TUBO	1	40	5,49	3	343,2	0,872	5,464	5,413	5,264	0,051	0,197	22,3	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,097	0,126
	2						5,456	5,421		0,035					
	3						5,461	5,264		0,197					
	4						5,470	5,313		0,157					
TEE	1	40	5,49	3	68,2	0,173	5,502	5,407	5,334	0,095	0,148	34,9	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,097	0,126
	2						5,482	5,334		0,148					
	3						5,450	5,366		0,084					
CODO	1	40	5,49	3	68,2	0,173	5,491	5,334	5,080	0,157	0,157	31,3	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,097	0,126
	2						5,389	5,361		0,028					
	3						5,388	5,242		0,146					
	4						5,140	5,080		0,060					
TUBO	1	40	5,49	3	68,2	0,173	5,417	5,258	5,258	0,159	0,159	32,0	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,097	0,126
	2						5,416	5,385		0,031					
	3						5,350	5,321		0,029					
	4						5,482	5,334		0,148					
LINEA STAND BY DE REGULACION															
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición		t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)							
CODO	1	40	5,49	3	343,2	0,872	5,420	5,363	5,136	0,057	0,131	32,6	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,057	0,076
	2						5,150	5,136		0,014					
	3						5,490	5,359		0,131					
	4						5,350	5,312		0,038					
TEE	1	40	5,49	3	343,2	0,872	5,430	5,364	5,063	0,066	0,107	39,2	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,057	0,076
	2						5,170	5,063		0,107					
	3						5,482	5,409		0,073					
	4						5,430	5,364		0,066					
CODO	1	40	5,49	3	68,2	0,173	5,180	5,158	5,158	0,022	0,084	59,3	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,057	0,076
	2						5,520	5,436		0,084					
	3						5,480	5,409		0,071					
	4						5,600	5,585		0,015					
TUBO	1	40	5,49	3	68,2	0,173	4,070	4,067	4,067	0,003	0,076	51,2	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,057	0,076
	2						4,390	4,360		0,030					
	3						5,370	5,296		0,074					
	4						5,461	5,385		0,076					
LINEA BY PASS DE REGULACION															
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición		t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)							
TUBO	1	40	3,91	2	65,45	0,111	3,740	3,658	3,658	0,082	0,099	35,8	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,068	0,098
	2						3,910	3,811		0,099					
	3						3,840	3,747		0,093					
	4						3,850	3,828		0,022					
CODO	1	40	3,91	2	65,45	0,111	3,902	3,868	3,329	0,034	0,091	35,4	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,068	0,098
	2						3,420	3,329		0,091					
	3						3,918	3,868		0,050					
	4						3,851	3,782		0,069					

Registro de ensayos de ultrasonido EDR 4.

REGISTRO DE ENSAYO DE ULTRASONIDO MEDICIÓN DE ESPESORES EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS															
CAPACIDAD:		2000 (m3/h)										EDR-4	EL ALTO		
MARCA:		FRANCEL													
AÑO DE INSTALACIÓN:		1994													
															
LINEA PRINCIPAL DE REGULACION															
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (pig)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)	Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)							
TEE	1	40	5,49	3	319,22	0,811	5,494	5,410	5,334	0,084	0,084	53,8	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,078	0,101
	2						5,394	5,334		0,060					
	3						5,456	5,382		0,074					
TUBO	1	40	5,49	3	319,22	0,811	5,420	5,313	5,313	0,107	0,107	42,1	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,078	0,101
	2						5,440	5,367		0,073					
	3						5,454	5,434		0,020					
	4						5,370	5,359		0,011					
TEE	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,344	5,207	4,966	0,137	0,151	31,8	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,078	0,101
	2						5,485	5,334		0,151					
	3						5,000	4,966		0,034					
CODO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,473	5,334	5,242	0,139	0,152	33,4	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,078	0,101
	2						5,319	5,261		0,058					
	3						5,391	5,242		0,149					
	4						5,460	5,308		0,152					
TUBO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,220	5,218	5,085	0,002	0,095	51,8	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,078	0,101
	2						5,180	5,085		0,095					
	3						5,472	5,461		0,011					
	4						5,380	5,334		0,046					
LINEA STAND BY DE REGULACION															
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (pig)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)	Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)							
CODO	1	40	5,49	3	319,22	0,811	5,473	5,463	5,312	0,010	0,057	79,0	LINEA STAND BY DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,040	0,053
	2						5,451	5,436		0,015					
	3						5,413	5,359		0,054					
	4						5,369	5,312		0,057					
TEE	1	40	5,49	3	319,22	0,811	5,393	5,364	5,209	0,029	0,029	151,7	LINEA STAND BY DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,040	0,053
	2						5,461	5,453		0,008					
	3						5,220	5,209		0,011					
CODO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,408	5,358	5,358	0,050	0,071	73,2	LINEA STAND BY DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,040	0,053
	2						5,380	5,360		0,020					
	3						5,430	5,409		0,021					
	4						5,456	5,385		0,071					
TUBO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,456	5,387	5,185	0,069	0,095	52,9	LINEA STAND BY DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,040	0,053
	2						5,270	5,236		0,034					
	3						5,450	5,396		0,054					
	4						5,280	5,185		0,095					
LINEA BY PASS DE REGULACION															
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (pig)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)	Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)							
TUBO	1	40	3,91	2	63,8	0,108	3,250	3,228	3,228	0,022	0,042	74,3	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,027	0,039
	2						3,840	3,811		0,029					
	3						3,910	3,870		0,040					
	4						3,770	3,728		0,042					
CODO	1	40	3,91	2	63,8	0,108	3,680	3,668	3,590	0,012	0,040	87,0	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,027	0,039
	2						3,630	3,590		0,040					
	3						3,690	3,680		0,010					
	4						3,700	3,682		0,018					

Registro de ensayos de ultrasonido EDR 5.

REGISTRO DE ENSAYO DE ULTRASONIDO MEDICIÓN DE ESPORES EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS															
CAPACIDAD:		2000 (m3/h)										EDR-5	EL ALTO		
MARCA:		ARMEC													
AÑO DE INSTALACIÓN:		2005													
															
LINEA PRINCIPAL DE REGULACION															
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición		t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)							
TEE	1	40	6,02	4	350,9	1,188	5,847	5,788	5,725	0,059	0,129	35,2	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,061	0,079
	2						5,986	5,857		0,129					
	3						5,763	5,725		0,038					
TUBO	1	40	6,02	4	350,9	1,188	5,240	5,209	5,209	0,031	0,057	70,5	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,061	0,079
	2						5,340	5,283		0,057					
	3						5,230	5,210		0,020					
	4						5,260	5,209		0,051					
TUBO	1	40	6,02	4	62,205	0,211	5,940	5,847	5,771	0,093	0,099	56,2	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,061	0,079
	2						5,910	5,898		0,012					
	3						6,003	6,001		0,002					
	4						5,870	5,771		0,099					
TEE	1	40	6,02	4	62,205	0,211	6,001	5,947	5,852	0,054	0,150	37,6	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,061	0,079
	2						6,002	5,852		0,150					
	3						6,000	5,931		0,069					
CODO	1	40	6,02	4	62,205	0,211	5,998	5,842	5,842	0,156	0,156	36,0	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,061	0,079
	2						5,877	5,874		0,003					
	3						5,986	5,966		0,020					
	4						5,999	5,944		0,055					
LINEA STAND BY DE REGULACION															
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición		t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)							
TUBO	1	40	5,49	3	350,9	0,891	5,330	5,286	5,134	0,044	0,096	44,2	LINEA STAND BY DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,065	0,087
	2						5,450	5,385		0,065					
	3						5,330	5,236		0,094					
	4						5,230	5,134		0,096					
TEE	1	40	5,49	3	350,9	0,891	5,420	5,344	5,344	0,076	0,083	53,6	LINEA STAND BY DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,065	0,087
	2						5,404	5,379		0,025					
	3						5,460	5,377		0,083					
TUBO	1	40	6,02	4	63,8	0,216	5,904	5,818	5,794	0,086	0,086	64,9	LINEA STAND BY DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,065	0,087
	2						5,890	5,823		0,067					
	3						5,835	5,794		0,041					
	4						5,950	5,883		0,067					
CODO	1	40	6,02	4	63,8	0,216	5,840	5,823	5,629	0,017	0,136	39,8	LINEA STAND BY DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,065	0,087
	2						5,870	5,734		0,136					
	3						5,870	5,734		0,136					
	4						5,640	5,629		0,011					
LINEA BY PASS DE REGULACION															
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición		t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)							
TUBO	1	40	3,91	2	63,8	0,108	3,770	3,703	3,703	0,067	0,067	53,7	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,035	0,057
	2						3,870	3,832		0,038					
	3						3,908	3,886		0,022					
	4						3,817	3,805		0,012					


Registro de ensayos de ultrasonido EDR 6.

REGISTRO DE ENSAYO DE ULTRASONIDO MEDICIÓN DE ESPESORES EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS															
CAPACIDAD: 1000 (m3/h) MARCA: Shangai Fiorentini AÑO DE INSTALACIÓN: NI											EDR-6	EL ALTO			
															
LINEA PRINCIPAL DE REGULACION															
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición		t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							(n-1)	(n)							
							t ant. (mm)	t act. (mm)							
TEE	1	40	3,91	2	385	0,652	3,585	3,498	3,269	0,087	0,116	22,6	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,075	0,096
	2						3,832	3,793		0,039					
	3						3,385	3,269		0,116					
TUBO	1	40	3,91	2	385	0,652	3,635	3,593	3,393	0,042	0,091	30,1	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,075	0,096
	2						3,685	3,594		0,091					
	3						3,549	3,542		0,007					
	4						3,435	3,393		0,042					
CODO	1	40	3,91	2	385	0,652	3,528	3,418	3,264	0,110	0,110	23,7	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,075	0,096
	2						3,703	3,607		0,096					
	3						3,330	3,264		0,066					
	4						3,605	3,582		0,023					
TUBO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,372	5,283	5,283	0,089	0,089	57,5	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,075	0,096
	2						5,470	5,385		0,085					
	3						5,360	5,283		0,077					
	4						5,410	5,359		0,051					
TEE	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,372	5,298	5,239	0,074	0,123	41,3	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,075	0,096
	2						5,381	5,299		0,082					
	3						5,362	5,239		0,123					
	4						5,283	5,128		0,155					
CODO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,150	5,098	5,098	0,052	0,155	31,8	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,075	0,096
	2						5,500	5,393		0,107					
	3						5,411	5,366		0,045					
	4						5,283	5,128		0,155					
LINEA STAND BY DE REGULACION															
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición		t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							(n-1)	(n)							
							t ant. (mm)	t act. (mm)							
TUBO	1	40	3,91	2	340	0,576	3,859	3,789	3,169	0,070	0,080	32,3	LINEA STAND BY DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,053	0,068
	2						3,525	3,489		0,036					
	3						3,249	3,169		0,080					
TEE	1	40	3,91	2	340	0,576	3,760	3,682	3,207	0,078	0,091	28,8	LINEA STAND BY DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,053	0,068
	2						3,356	3,265		0,091					
	3						3,777	3,695		0,082					
CODO	1	40	3,91	2	340	0,576	3,279	3,207	3,036	0,072	0,056	43,7	LINEA STAND BY DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,053	0,068
	2						3,113	3,105		0,008					
	3						3,039	3,036		0,003					
	4						3,709	3,653		0,056					
TUBO	1	40	3,91	2	63,8	0,108	3,066	3,038	3,141	0,028	0,083	36,6	LINEA STAND BY DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,053	0,068
	2						3,839	3,756		0,083					
	3						3,191	3,141		0,050					
	4						3,662	3,623		0,039					
CODO	1	40	3,91	2	63,8	0,108	3,433	3,398	3,401	0,035	0,077	42,6	LINEA STAND BY DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,053	0,068
	2						3,816	3,801		0,015					
	3						3,478	3,401		0,077					
	4						3,780	3,715		0,065					
TEE	1	40	3,91	2	63,8	0,108	3,532	3,498	3,493	0,034	0,082	41,2	LINEA STAND BY DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,053	0,068
	2						3,673	3,591		0,082					
	3						3,537	3,495		0,042					
							3,540	3,493		0,047					
LINEA BY PASS DE REGULACION															
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición		t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							(n-1)	(n)							
							t ant. (mm)	t act. (mm)							
TUBO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,289	5,202	5,122	0,087	0,087	57,0	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,051	0,070
	2						5,198	5,122		0,076					
	3						5,265	5,202		0,063					
	4						5,374	5,352		0,022					
CODO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,308	5,264	5,118	0,044	0,092	53,9	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,051	0,070
	2						5,129	5,118		0,011					
	3						5,256	5,164		0,092					
	4						5,274	5,234		0,040					
TEE	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,389	5,385	5,302	0,004	0,097	53,0	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,051	0,070
	2						5,328	5,308		0,020					
	3						5,399	5,302		0,097					
	4						5,289	5,202		0,087					


Registro de ensayos de ultrasonido EDR 7.

REGISTRO DE ENSAYO DE ULTRASONIDO MEDICIÓN DE ESPORES EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS																		
CAPACIDAD:		1000 (m3/h)										EDR-7	EL ALTO					
MARCA:		TOTAL																
AÑO DE INSTALACIÓN:		NI																
																		
LINEA PRINCIPAL DE REGULACION																		
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición		t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)			
							(n-1) t ant.(mm)	(n) t act.(mm)										
TUBO	1	40	3,91	2	374	0,633	3,890	3,864	3,681	0,026	0,099	30,8	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,061	0,080			
	2						3,902	3,810		0,092								
	3						3,770	3,710		0,060								
	4						3,780	3,681		0,099								
TEE	1	40	3,91	2	374	0,633	3,590	3,542	3,420	0,048	0,050	55,7				LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,061	0,080
	2						3,510	3,504		0,006								
	3						3,470	3,420		0,050								
	4																	
TUBO	1	40	3,91	2	68,2	0,115	3,390	3,364	3,100	0,026	0,092	32,4	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,061	0,080			
	2						3,820	3,810		0,010								
	3						3,190	3,100		0,090								
	4						3,910	3,818		0,092								
TEE	1	40	3,91	2	68,2	0,115	3,403	3,308	3,308	0,095	0,095	33,6				LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,061	0,080
	2						3,890	3,858		0,032								
	3						3,500	3,488		0,012								
	4																	
CODO	1	40	5,49	3	68,2	0,173	5,368	5,358	5,096	0,010	0,213	23,1	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,061	0,080			
	2						5,378	5,350		0,028								
	3						5,212	5,096		0,116								
	4						5,325	5,112		0,213								
LINEA STAND BY DE REGULACION																		
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición		t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)				REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							(n-1) t ant.(mm)	(n) t act.(mm)										
CODO	1	40	3,91	2	374	0,633	3,740	3,680	3,315	0,060	0,062	43,3				LINEA STAND BY DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,044	0,057
	2						3,490	3,472		0,018								
	3						3,680	3,618		0,062								
	4						3,320	3,315		0,005								
TUBO	1	40	3,91	2	374	0,633	3,710	3,630	3,256	0,080	0,080	32,8	LINEA STAND BY DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,044	0,057			
	2						3,860	3,810		0,050								
	3						3,330	3,256		0,074								
	4						3,880	3,810		0,070								
TEE	1	40	3,91	2	374	0,633	3,725	3,696	3,504	0,029	0,029	99,0				LINEA STAND BY DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,044	0,057
	2						3,510	3,504		0,006								
	3						3,813	3,796		0,017								
	4																	
TUBO	1	40	3,91	2	64,9	0,110	3,770	3,710	3,710	0,060	0,060	60,0	LINEA STAND BY DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,044	0,057			
	2						3,800	3,751		0,049								
	3						3,800	3,781		0,019								
	4						3,810	3,756		0,054								
CODO	1	40	3,91	2	64,9	0,110	3,700	3,618	3,502	0,082	0,082	41,4				LINEA STAND BY DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,044	0,057
	2						3,821	3,802		0,019								
	3						3,740	3,680		0,060								
	4						3,520	3,502		0,018								
LINEA BY PASS DE REGULACION																		
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición		t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)			
							(n-1) t ant.(mm)	(n) t act.(mm)										
TUBO	1	40	3,38	1	64,9	0,055	3,340	3,302	3,202	0,038	0,063	50,0	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,044	0,064			
	2						3,242	3,202		0,040								
	3						3,365	3,302		0,063								
	4						3,260	3,232		0,028								
CODO	1	40	3,38	1	64,9	0,055	3,253	3,164	3,110	0,089	0,089	34,3				LINEA BY PASS DE REGULACION	0,044	0,064
	2						3,170	3,110		0,060								
	3						3,257	3,240		0,017								
	4						3,154	3,134		0,020								

Registro de ensayos de ultrasonido EDR 8.

REGISTRO DE ENSAYO DE ULTRASONIDO MEDICIÓN DE ESPORES EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS															
CAPACIDAD: 1000 (m3/h) MARCA: GASCAT AÑO DE INSTALACIÓN: 2008											EDR-8	EL ALTO			
															
LÍNEA PRINCIPAL DE REGULACION															
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)	Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)							
TEE	1	40	5,49	3	363	0,922	5,472	5,470	5,252	0,002	0,138	31,3	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,077	0,100
	2						5,474	5,347		0,127					
	3						5,390	5,252		0,138					
TUBO	1	40	5,49	3	363	0,922	5,360	5,213	5,213	0,147	0,147	29,3	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,077	0,100
	2						5,450	5,363		0,087					
	3						5,390	5,334		0,056					
	4						5,380	5,312		0,068					
TUBO	1	40	6,02	4	68,64	0,232	6,004	5,999	5,869	0,005	0,118	47,8	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,077	0,100
	2						6,010	5,986		0,024					
	3						6,000	5,886		0,114					
	4						5,987	5,869		0,118					
TEE	1	40	6,02	4	68,64	0,232	6,020	6,010	5,807	0,010	0,111	50,3	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,077	0,100
	2						5,899	5,807		0,092					
	3						6,002	5,891		0,111					
CODO	1	40	6,02	4	68,64	0,232	6,001	5,968	5,742	0,033	0,163	33,7	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,077	0,100
	2						5,996	5,833		0,163					
	3						5,789	5,742		0,047					
	4						5,885	5,848		0,037					
LÍNEA STAND BY DE REGULACION															
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)	Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)							
TUBO	1	40	5,49	3	363	0,922	5,450	5,415	5,286	0,035	0,093	46,9	LINEA STAND BY DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,088	0,118
	2						5,467	5,435		0,032					
	3						5,454	5,361		0,093					
	4						5,350	5,286		0,064					
TEE	1	40	5,49	3	363	0,922	5,385	5,261	5,261	0,124	0,124	34,9	LINEA STAND BY DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,088	0,118
	2						5,398	5,326		0,072					
	3						5,474	5,428		0,046					
TUBO	1	40	6,02	4	66,99	0,227	6,005	5,933	5,726	0,072	0,138	39,9	LINEA STAND BY DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,088	0,118
	2						6,009	5,882		0,127					
	3						5,973	5,835		0,138					
	4						5,829	5,726		0,103					
CODO	1	40	6,02	4	66,99	0,227	5,976	5,806	5,709	0,170	0,170	32,2	LINEA STAND BY DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,088	0,118
	2						5,909	5,812		0,097					
	3						5,784	5,709		0,075					
	4						5,919	5,842		0,077					
LÍNEA BY PASS DE REGULACION															
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)	Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)							
TUBO	1	40	6,02	4	63,8	0,216	6,004	5,979	5,796	0,025	0,156	35,8	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,061	0,100
	2						5,934	5,924		0,010					
	3						5,848	5,796		0,052					
	4						6,001	5,845		0,156					

Registro de ensayos de ultrasonido EDR 9.

REGISTRO DE ENSAYO DE ULTRASONIDO MEDICIÓN DE ESPESORES EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS																
CAPACIDAD:		2000 (m3/h)										EDR-9	EL ALTO			
MARCA:		ARMEC														
AÑO DE INSTALACIÓN:		2006														
																
LINEA PRINCIPAL DE REGULACION																
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)		Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)								
TEE	1	40	5,49	3	374	0,950	5,472	5,376	5,232	0,096	0,158	27,1	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,072	0,094	
	2						5,390	5,232								0,158
	3						5,420	5,314								0,106
TUBO	1	40	5,49	3	374	0,950	5,460	5,436	5,286	0,024	0,131	33,1	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,072	0,094	
	2						5,490	5,486								0,004
	3						5,465	5,334								0,131
	4						5,310	5,286								0,024
TUBO	1	40	6,02	4	61,6	0,209	6,020	5,923	5,902	0,097	0,097	58,7	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,072	0,094	
	2						6,003	5,960								0,043
	3						5,990	5,902								0,088
	4						6,023	5,947								0,076
TEE	1	40	6,02	4	61,6	0,209	6,036	6,020	5,850	0,016	0,076	74,4	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,072	0,094	
	2						6,020	5,988								0,032
	3						5,926	5,850								0,076
CODO	1	40	6,02	4	61,6	0,209	5,914	5,814	5,739	0,100	0,100	55,1	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,072	0,094	
	2						5,823	5,739								0,084
	3						5,966	5,914								0,052
	4						5,932	5,837								0,095
LINEA STAND BY DE REGULACION																
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)		Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)								
TUBO	1	40	5,49	3	374	0,950	5,480	5,409	5,312	0,071	0,094	46,2	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,060	0,080	
	2						5,360	5,312								0,048
	3						5,430	5,336								0,094
	4						5,420	5,412								0,008
TEE	1	40	5,49	3	374	0,950	5,360	5,295	5,295	0,065	0,071	61,4	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,060	0,080	
	2						5,470	5,399								0,071
	3						5,517	5,493								0,024
TUBO	1	40	6,02	4	60,5	0,205	6,025	6,015	5,817	0,010	0,103	54,3	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,060	0,080	
	2						5,937	5,844								0,093
	3						5,920	5,817								0,103
	4						6,026	6,004								0,022
CODO	1	40	6,02	4	60,5	0,205	5,917	5,911	5,834	0,006	0,173	32,5	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,060	0,080	
	2						6,030	5,981								0,049
	3						6,020	5,954								0,066
	4						6,007	5,834								0,173
LINEA BY PASS DE REGULACION																
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)		Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)								
TUBO	1	40	3,91	2	61,6	0,104	3,902	3,837	3,635	0,065	0,065	54,3	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,043	0,071	
	2						3,680	3,635								0,045
	3						3,910	3,894								0,016
	4						3,830	3,783								0,047


Registro de ensayos de ultrasonido EDR 10.

REGISTRO DE ENSAYO DE ULTRASONIDO MEDICIÓN DE ESPESORES EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS																								
CAPACIDAD: 1000 (m3/h) MARCA: Shangai Fiorentini AÑO DE INSTALACIÓN: NI											EDR-10	EL ALTO												
																								
LINEA PRINCIPAL DE REGULACION																								
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)		Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)								
							t ant.(mm)	t act.(mm)																
TEE	1	40	3,91	2	374	0,633	3,890	3,825	3,825	0,065	0,065	49,1	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,062	0,079									
	2						3,950	3,930																
	3						3,908	3,894																
TUBO	1	40	3,91	2	374	0,633	3,910	3,813	3,762	0,097	0,097	32,3				LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,062	0,079						
	2						3,858	3,762																
	3						3,860	3,764																
CODO	1	40	3,91	2	374	0,633	3,912	3,894	3,742	0,018	0,085	36,6							LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,062	0,079			
	2						3,790	3,725																
	3						3,827	3,742																
TUBO	1	40	5,49	3	66	0,168	3,810	3,764	5,105	0,046	0,106	46,6										LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079
	2						3,820	3,784																
	3						5,460	5,407																
TEE	1	40	5,49	3	66	0,168	5,190	5,105	5,239	0,085	0,092	55,1	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079									
	2						5,260	5,154																
	3						5,200	5,188																
CODO	1	40	5,49	3	66	0,168	5,493	5,401	4,067	0,092	0,123	31,8				LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079						
	2						5,450	5,361																
	3						5,310	5,239																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,360	5,282	4,067	0,078	0,123	31,8							LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079			
	2						5,130	5,066																
	3						4,190	4,067																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400	5,391	4,067	0,009	0,123	31,8										LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079
	2						5,360	5,282																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	4,190	4,067	4,067	0,123	0,123	31,8	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079									
	2						5,400	5,391																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400	5,391	4,067	0,009	0,123	31,8				LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079						
	2						5,360	5,282																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400	5,391	4,067	0,009	0,123	31,8							LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079			
	2						5,360	5,282																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400	5,391	4,067	0,009	0,123	31,8										LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079
	2						5,360	5,282																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400	5,391	4,067	0,009	0,123	31,8	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079									
	2						5,360	5,282																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400	5,391	4,067	0,009	0,123	31,8				LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079						
	2						5,360	5,282																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400	5,391	4,067	0,009	0,123	31,8							LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079			
	2						5,360	5,282																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400	5,391	4,067	0,009	0,123	31,8										LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079
	2						5,360	5,282																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400	5,391	4,067	0,009	0,123	31,8	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079									
	2						5,360	5,282																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400	5,391	4,067	0,009	0,123	31,8				LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079						
	2						5,360	5,282																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400	5,391	4,067	0,009	0,123	31,8							LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079			
	2						5,360	5,282																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400	5,391	4,067	0,009	0,123	31,8										LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079
	2						5,360	5,282																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400	5,391	4,067	0,009	0,123	31,8	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079									
	2						5,360	5,282																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400	5,391	4,067	0,009	0,123	31,8				LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079						
	2						5,360	5,282																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400	5,391	4,067	0,009	0,123	31,8							LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079			
	2						5,360	5,282																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400	5,391	4,067	0,009	0,123	31,8										LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079
	2						5,360	5,282																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400	5,391	4,067	0,009	0,123	31,8	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079									
	2						5,360	5,282																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400	5,391	4,067	0,009	0,123	31,8				LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079						
	2						5,360	5,282																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400	5,391	4,067	0,009	0,123	31,8							LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079			
	2						5,360	5,282																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400	5,391	4,067	0,009	0,123	31,8										LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079
	2						5,360	5,282																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400	5,391	4,067	0,009	0,123	31,8	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079									
	2						5,360	5,282																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400	5,391	4,067	0,009	0,123	31,8				LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079						
	2						5,360	5,282																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400	5,391	4,067	0,009	0,123	31,8							LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079			
	2						5,360	5,282																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400	5,391	4,067	0,009	0,123	31,8										LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079
	2						5,360	5,282																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400	5,391	4,067	0,009	0,123	31,8	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079									
	2						5,360	5,282																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400	5,391	4,067	0,009	0,123	31,8				LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079						
	2						5,360	5,282																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400	5,391	4,067	0,009	0,123	31,8							LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079			
	2						5,360	5,282																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400	5,391	4,067	0,009	0,123	31,8										LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079
	2						5,360	5,282																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400	5,391	4,067	0,009	0,123	31,8	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079									
	2						5,360	5,282																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400	5,391	4,067	0,009	0,123	31,8				LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079						
	2						5,360	5,282																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400	5,391	4,067	0,009	0,123	31,8							LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079			
	2						5,360	5,282																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400	5,391	4,067	0,009	0,123	31,8										LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079
	2						5,360	5,282																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400	5,391	4,067	0,009	0,123	31,8	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,079									
	2						5,360	5,282																
	3						5,130	5,066																
	1	40	5,49	3	66	0,168	5,400</																	

Registro de ensayos de ultrasonido EDR 11.

REGISTRO DE ENSAYO DE ULTRASONIDO MEDICIÓN DE ESPESORES EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS																						
CAPACIDAD: 1000 (m3/h) MARCA: SHANGHAI FIORENTINI AÑO DE INSTALACIÓN: NI											EDR-11	EL ALTO										
																						
LINEA PRINCIPAL DE REGULACION																						
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)		Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)						
							t ant. (mm)	t act. (mm)														
TEE	1	40	3,91	2	352	0,596	3,894	3,819	3,694	3,694	0,075	0,075	41,1	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,043	0,055						
	2						3,835	3,826			0,009											
	3						3,756	3,694			0,062											
TUBO	1	40	3,91	2	352	0,596	3,800	3,767	3,656	3,656	0,033	0,084	36,4				LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,043	0,055			
	2						3,847	3,796			0,051											
	3						3,818	3,810			0,008											
	4						3,740	3,656			0,084											
CODO	1	40	3,91	2	352	0,596	3,737	3,672	3,605	3,605	0,065	0,065	46,3							LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,043	0,055
	2						3,830	3,805			0,025											
	3						3,850	3,807			0,043											
	4						3,630	3,605			0,025											
TUBO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,140	5,105	4,683	4,683	0,035	0,077	58,9									
	2						5,456	5,406			0,050											
	3						5,230	5,228			0,002											
	4						4,760	4,683			0,077											
TEE	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,407	5,328	5,328	5,328	0,079	0,100	51,7	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,043	0,055						
	2						5,480	5,460			0,020											
	3						5,496	5,396			0,100											
	4																					
CODO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,418	5,408	5,013	5,013	0,010	0,064	75,8				LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,043	0,055			
	2						5,020	5,013			0,007											
	3						5,375	5,344			0,031											
	4						5,468	5,404			0,064											
LINEA STAND BY DE REGULACION																						
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)		Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)							REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant. (mm)	t act. (mm)														
TUBO	1	40	3,91	2	352	0,596	3,832	3,818	3,683	3,683	0,014	0,051	61,0							LINEA STAND BY DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,051	0,065
	2						3,733	3,718			0,015											
	3						3,826	3,818			0,008											
	4						3,734	3,683			0,051											
TEE	1	40	3,91	2	352	0,596	3,819	3,818	3,782	3,782	0,001	0,042	75,5	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,051	0,065						
	2						3,836	3,818			0,018											
	3						3,824	3,782			0,042											
	4																					
CODO	1	40	3,91	2	352	0,596	3,910	3,864	3,734	3,734	0,046	0,080	39,2				LINEA STAND BY DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,051	0,065			
	2						3,814	3,734			0,080											
	3						3,835	3,796			0,039											
	4						3,873	3,834			0,039											
TUBO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,230	5,206	5,064	5,064	0,024	0,126	38,9							LINEA STAND BY DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,051	0,065
	2						5,250	5,164			0,086											
	3						5,200	5,318			-0,118											
	4						5,190	5,064			0,126											
CODO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,070	5,008	5,008	5,008	0,062	0,082	59,1	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,051	0,065						
	2						5,470	5,388			0,082											
	3						5,430	5,408			0,022											
	4						5,480	5,420			0,060											
TEE	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,486	5,366	5,262	5,262	0,120	0,120	42,5				LINEA STAND BY DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,051	0,065			
	2						5,454	5,382			0,072											
	3						5,324	5,262			0,062											
	4																					
LINEA BY PASS DE REGULACION																						
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)		Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)							REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant. (mm)	t act. (mm)														
TUBO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,360	5,280	5,206	5,206	0,080	0,080	63,0							LINEA BY PASS DE REGULACION	0,042	0,058
	2						5,236	5,206			0,030											
	3						5,298	5,272			0,026											
	4						5,342	5,320			0,022											
CODO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,378	5,308	5,188	5,188	0,070	0,070	71,8	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,042	0,058						
	2						5,208	5,188			0,020											
	3						5,298	5,242			0,056											
	4						5,310	5,242			0,068											
TEE	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,379	5,375	5,208	5,208	0,004	0,077	65,5				LINEA BY PASS DE REGULACION	0,042	0,058			
	2						5,218	5,208			0,010											
	3						5,299	5,222			0,077											
	4																					

Registro de ensayos de ultrasonido EDR 12.

REGISTRO DE ENSAYO DE ULTRASONIDO MEDICIÓN DE ESPESORES EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS															
CAPACIDAD:		5000 (m ³ /h)										EDR-12	EL ALTO		
MARCA:		SCHLUMBERGER													
AÑO DE INSTALACIÓN:		2005													
															
LINEA PRINCIPAL DE REGULACION															
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)	Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)							
TUBO	1	40	6,02	4	374,99	1,270	6,025	6,023	5,852	0,002	0,097	47,4	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,059	0,079
	2						6,002	5,905		0,097					
	3						5,927	5,901		0,026					
	4						5,993	5,852							
TEE	1	40	6,02	4	374,99	1,270	6,030	5,980	5,920	0,050	0,086	53,8	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,059	0,079
	2						6,053	5,977		0,076					
	3						6,006	5,920		0,086					
TUBO	1	40	7,11	6	63,8	0,324	7,021	7,004	6,901	0,017	0,100	65,8	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,059	0,079
	2						7,103	7,100		0,003					
	3						7,110	7,010		0,100					
	4						7,000	6,901		0,099					
TEE	1	40	7,11	6	63,8	0,324	7,150	7,022	7,000	0,128	0,128	52,2	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,059	0,079
	2						7,070	7,000		0,070					
	3						7,022	7,006		0,016					
LINEA STAND BY DE REGULACION															
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)	Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)							
CODO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,400	5,378	5,302	0,022	0,100	51,4	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,058	0,084
	2						5,440	5,340		0,100					
	3						5,380	5,302		0,078					
	4						5,464	5,426		0,038					
TUBO	1	40	7,11	6	63,8	0,324	7,033	7,024	6,922	0,009	0,090	73,3	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,058	0,084
	2						7,073	7,018		0,055					
	3						6,991	6,922		0,069					
	4						7,040	6,950		0,090					
LINEA BY PASS DE REGULACION															
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)	Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)							
CODO	1	40	5,49	3	61,6	0,156	5,320	5,262	5,229	0,058	0,094	54,0	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,043	0,062
	2						5,290	5,229		0,061					
	3						5,455	5,442		0,013					
	4						5,482	5,388		0,094					
TUBO	1	40	5,49	3	61,6	0,156	5,486	5,483	5,261	0,003	0,053	95,9	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,043	0,062
	2						5,314	5,261		0,053					
	3						5,486	5,434		0,052					
	4						5,277	5,270		0,007					


Registro de ensayos de ultrasonido EDR 13.

REGISTRO DE ENSAYO DE ULTRASONIDO MEDICIÓN DE ESPESORES EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS																
CAPACIDAD: 1000 (m3/h) MARCA: SHANGHAI FIORENTINI AÑO DE INSTALACIÓN: 2008											EDR-13	EL ALTO				
																
LINEA PRINCIPAL DE REGULACION																
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)		Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)								
TEE	1	40	3,91	2	319	0,540	3,919	3,835	3,747		0,084	0,084	38,2	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,044	0,056
	2						3,817	3,747								
	3						3,841	3,824								
TUBO	1	40	3,91	2	319	0,540	3,846	3,802	3,670		0,044	0,057	55,3	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,044	0,056
	2						3,836	3,807								
	3						3,727	3,670								
	4						3,882	3,842								
CODO	1	40	3,91	2	319	0,540	3,836	3,802	3,802		0,038	0,038	86,8	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,044	0,056
	2						3,916	3,878								
	3						3,844	3,812								
	4						3,831	3,831								
TUBO	1	40	5,49	3	66	0,168	4,580	4,528	4,528		0,052	0,060	72,7	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,044	0,056
	2						4,710	4,651								
	3						4,880	4,820								
	4						4,610	4,604								
TEE	1	40	5,49	3	66	0,168	5,510	5,426	5,375		0,084	0,084	62,3	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,044	0,056
	2						5,415	5,375								
	3						5,487	5,428								
	4						5,409	5,378								
CODO	1	40	5,49	3	66	0,168	5,386	5,327	5,272		0,059	0,059	86,1	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,044	0,056
	2						5,366	5,345								
	3						5,326	5,272								
	4						5,326	5,272								
LINEA STAND BY DE REGULACION																
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)		Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)								
TUBO	1	40	3,91	2	319	0,540	3,835	3,834	3,688		0,001	0,050	63,0	LINEA STAND BY DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,039	0,049
	2						3,823	3,822								
	3						3,728	3,708								
	4						3,738	3,688								
TEE	1	40	3,91	2	319	0,540	3,898	3,818	3,802		0,080	0,080	40,8	LINEA STAND BY DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,039	0,049
	2						3,840	3,802								
	3						3,870	3,804								
CODO	1	40	3,91	2	319	0,540	3,833	3,824	3,714		0,009	0,035	90,2	LINEA STAND BY DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,039	0,049
	2						3,812	3,777								
	3						3,890	3,856								
	4						3,739	3,714								
TUBO	1	40	5,49	3	66	0,168	4,460	4,457	4,218		0,003	0,062	65,3	LINEA STAND BY DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,039	0,049
	2						4,420	4,367								
	3						4,380	4,318								
	4						4,270	4,218								
CODO	1	40	5,49	3	66	0,168	5,130	5,080	5,080		0,050	0,070	70,2	LINEA STAND BY DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,039	0,049
	2						5,460	5,412								
	3						5,458	5,388								
	4						5,470	5,439								
TEE	1	40	5,49	3	66	0,168	5,480	5,475	5,359		0,005	0,106	49,2	LINEA STAND BY DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,039	0,049
	2						5,465	5,359								
	3						5,426	5,411								
	4						5,426	5,411								
LINEA BY PASS DE REGULACION																
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)		Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)								
TUBO	1	40	5,49	3	66	0,168	5,377	5,286	5,286		0,091	0,091	56,2	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,054	0,075
	2						5,372	5,297								
	3						5,371	5,306								
	4						5,313	5,301								
CODO	1	40	5,49	3	66	0,168	5,369	5,302	5,301		0,067	0,067	76,6	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,054	0,075
	2						5,307	5,301								
	3						5,360	5,327								
	4						5,362	5,314								
TEE	1	40	5,49	3	66	0,168	5,368	5,308	5,179		0,060	0,106	47,3	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,054	0,075
	2						5,235	5,201								
	3						5,285	5,179								
	4						5,285	5,179								

Registro de ensayos de ultrasonido EDR 14.

REGISTRO DE ENSAYO DE ULTRASONIDO MEDICIÓN DE ESPORES EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS															
CAPACIDAD: 1000 (m3/h) MARCA: SHANGHAI FIORENTINI AÑO DE INSTALACIÓN: NI											EDR-14	EL ALTO			
															
LINEA PRINCIPAL DE REGULACION															
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)	Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant. (mm)	t act. (mm)							
TEE	1	40	3,91	2	352	0,596	3,914	3,899	3,734	0,015	0,139	22,6	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,056	0,071
	2						3,859	3,837		0,022					
	3						3,873	3,734		0,139					
TUBO	1	40	3,91	2	352	0,596	3,830	3,732	3,672	0,098	0,112	27,5	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,056	0,071
	2						3,735	3,672		0,063					
	3						3,836	3,824		0,012					
	4						3,830	3,718		0,112					
CODO	1	40	3,91	2	352	0,596	3,734	3,672	3,672	0,062	0,075	40,8	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,056	0,071
	2						3,896	3,821		0,075					
	3						3,860	3,828		0,032					
	4						3,905	3,832		0,073					
TUBO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	4,000	3,988	3,988	0,012	0,064	60,2	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,056	0,071
	2						4,680	4,616		0,064					
	3						4,320	4,314		0,006					
	4						4,330	4,316		0,014					
TEE	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,460	5,434	5,327	0,026	0,064	81,2	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,056	0,071
	2						5,391	5,327		0,064					
	3						5,394	5,350		0,044					
CODO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,396	5,308	5,002	0,088	0,149	32,4	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,056	0,071
	2						5,040	5,002		0,038					
	3						5,293	5,144		0,149					
	4						5,413	5,388		0,025					
LINEA STAND BY DE REGULACION															
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)	Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant. (mm)	t act. (mm)							
TUBO	1	40	3,91	2	352	0,596	3,834	3,826	3,793	0,008	0,042	75,4	LINEA STAND BY DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,052	0,066
	2						3,835	3,793		0,042					
	3						3,827	3,818		0,009					
	4						3,834	3,832		0,002					
TEE	1	40	3,91	2	352	0,596	3,905	3,841	3,828	0,064	0,064	50,3	LINEA STAND BY DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,052	0,066
	2						3,877	3,828		0,049					
	3						3,846	3,828		0,018					
CODO	1	40	3,91	2	352	0,596	3,910	3,892	3,801	0,018	0,042	76,3	LINEA STAND BY DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,052	0,066
	2						3,915	3,907		0,008					
	3						3,819	3,801		0,018					
	4						3,858	3,816		0,042					
TUBO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	4,970	4,910	4,418	0,060	0,132	32,2	LINEA STAND BY DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,052	0,066
	2						4,550	4,418		0,132					
	3						4,860	4,793		0,067					
	4						4,770	4,640		0,130					
CODO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,485	5,380	5,213	0,105	0,146	34,7	LINEA STAND BY DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,052	0,066
	2						5,359	5,213		0,146					
	3						5,403	5,392		0,011					
	4						5,403	5,394		0,009					
TEE	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,208	5,103	5,103	0,105	0,105	46,9	LINEA STAND BY DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,052	0,066
	2						5,408	5,381		0,028					
	3						5,482	5,407		0,075					
LINEA BY PASS DE REGULACION															
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)	Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant. (mm)	t act. (mm)							
TUBO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,294	5,202	5,202	0,092	0,092	54,8	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,062	0,091
	2						5,359	5,291		0,068					
	3						5,384	5,310		0,074					
	4						5,352	5,298		0,054					
CODO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,366	5,278	5,240	0,088	0,088	58,0	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,062	0,091
	2						5,277	5,244		0,033					
	3						5,303	5,240		0,063					
	4						5,370	5,342		0,028					
TEE	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,368	5,308	5,179	0,060	0,106	47,3	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,062	0,091
	2						5,235	5,201		0,034					
	3						5,285	5,179		0,106					

Registro de ensayos de ultrasonido EDR 15.

REGISTRO DE ENSAYO DE ULTRASONIDO MEDICIÓN DE ESPEORES EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS															
CAPACIDAD: 2000 (m3/h)										EDR-15		EL ALTO			
MARCA: ARMEC															
AÑO DE INSTALACIÓN: NI															
															
LINEA PRINCIPAL DE REGULACION															
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición		t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant. (mm)	t act. (mm)							
TEE	1	40	5,49	3	341	0,866	5,489	5,399	5,398	0,090	0,090	50,5	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR		
	2						5,492	5,423		0,069					
	3						5,436	5,398		0,038					
TUBO	1	40	5,49	3	341	0,866	5,480	5,406	5,313	0,074	0,127	35,1			
	2						5,520	5,464		0,056					
	3						5,500	5,436		0,064					
	4						5,440	5,313		0,127					
TUBO	1	40	6,02	4	66	0,224	5,980	5,918	5,918	0,062	0,079	72,5	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,068	0,088
	2						6,000	5,921		0,079					
	3						6,005	5,948		0,057					
	4						6,016	5,969		0,047					
TEE	1	40	6,02	4	66	0,224	5,880	5,831	5,831	0,049	0,081	69,2			
	2						5,962	5,957		0,005					
	3						5,917	5,836		0,081					
CODO	1	40	6,02	4	66	0,224	5,980	5,864	5,818	0,116	0,116	48,4			
	2						5,902	5,868		0,034					
	3						5,918	5,828		0,090					
	4						5,902	5,818		0,084					
LINEA STAND BY DE REGULACION															
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición		t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant. (mm)	t act. (mm)							
TUBO	1	40	5,49	3	341	0,866	5,406	5,385	5,320	0,021	0,079	56,2	LINEA STAND BY DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,048	0,064
	2						5,399	5,320		0,079					
	3						5,417	5,402		0,015					
	4						5,394	5,371		0,023					
TEE	1	40	5,49	3	341	0,866	5,482	5,466	5,402	0,016	0,068	66,7			
	2						5,480	5,412		0,068					
	3						5,459	5,402		0,057					
TUBO	1	40	6,02	4	62,7	0,212	6,060	6,045	5,871	0,015	0,072	78,8	LINEA STAND BY DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR		
	2						5,990	5,976		0,014					
	3						6,017	5,945		0,072					
	4						5,940	5,871		0,069					
CODO	1	40	6,02	4	62,7	0,212	6,062	5,907	5,903	0,155	0,155	36,8			
	2						5,990	5,964		0,026					
	3						5,983	5,903		0,080					
	4						5,978	5,962		0,016					
LINEA BY PASS DE REGULACION															
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición		t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant. (mm)	t act. (mm)							
TUBO	1	40	3,91	2	60,5	0,102	3,900	3,835	3,688	0,065	0,065	55,5	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,027	0,045
	2						3,803	3,783		0,020					
	3						3,890	3,878		0,012					
	4						3,700	3,688		0,012					

Registro de ensayos de ultrasonido EDR 16.

REGISTRO DE ENSAYO DE ULTRASONIDO MEDICIÓN DE ESPESES EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS																
CAPACIDAD: 1000 (m3/h) MARCA: SHANGHAI FIORENTINI AÑO DE INSTALACIÓN: 2006											EDR-16	EL ALTO				
																
LINEA PRINCIPAL DE REGULACION																
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)		Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant. (mm)	t act. (mm)								
TEE	1	40	3,91	2	308	0,522	3,915	3,914	3,914		0,001	0,022	157,2	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,027	0,034
	2						3,961	3,953								
	3						3,942	3,920								
TUBO	1	40	3,91	2	308	0,522	3,830	3,819	3,817		0,011	0,064	51,4	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,027	0,034
	2						3,893	3,829								
	3						3,822	3,817								
	4						3,852	3,822								
CODO	1	40	3,91	2	308	0,522	3,908	3,904	3,851		0,004	0,040	84,3	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,027	0,034
	2						3,920	3,918								
	3						3,981	3,951								
	4						3,890	3,851								
TUBO	1	40	5,49	3	66	0,168	5,460	5,436	5,182		0,024	0,050	100,7	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,027	0,034
	2						5,540	5,490								
	3						5,200	5,182								
	4						5,380	5,347								
TEE	1	40	5,49	3	66	0,168	5,480	5,467	5,378		0,013	0,067	77,9	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,027	0,034
	2						5,390	5,378								
	3						5,540	5,473								
	4						5,401	5,395								
CODO	1	40	5,49	3	66	0,168	5,580	5,517	5,395		0,006	0,065	80,2	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,027	0,034
	2						5,580	5,517								
	3						5,460	5,395								
	4						5,472	5,452								
LINEA STAND BY DE REGULACION																
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)		Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant. (mm)	t act. (mm)								
TUBO	1	40	3,91	2	308	0,522	3,918	3,903	3,877		0,015	0,054	61,9	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,036	0,046
	2						3,931	3,877								
	3						3,914	3,884								
TEE	1	40	3,91	2	308	0,522	3,904	3,892	3,881		0,012	0,062	54,0	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,036	0,046
	2						3,914	3,904								
	3						3,913	3,907								
	4						3,943	3,881								
CODO	1	40	3,91	2	308	0,522	3,947	3,928	3,840		0,019	0,057	58,3	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,036	0,046
	2						3,914	3,909								
	3						3,897	3,840								
	4						3,891	3,841								
TUBO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,527	5,474	5,405		0,053	0,054	97,8	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,036	0,046
	2						5,459	5,405								
	3						5,453	5,423								
	4						5,461	5,424								
CODO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,405	5,392	5,322		0,013	0,097	53,4	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,036	0,046
	2						5,620	5,588								
	3						5,606	5,592								
	4						5,418	5,322								
TEE	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,650	5,608	5,407		0,042	0,100	52,4	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,036	0,046
	2						5,560	5,460								
	3						5,412	5,407								
	4						5,412	5,407								
LINEA BY PASS DE REGULACION																
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)		Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant. (mm)	t act. (mm)								
TUBO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,312	5,256	5,252		0,056	0,090	56,9	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,053	0,077
	2						5,320	5,261								
	3						5,370	5,280								
	4						5,319	5,252								
CODO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,371	5,346	5,219		0,025	0,087	58,1	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,053	0,077
	2						5,306	5,219								
	3						5,388	5,370								
	4						5,382	5,359								
TEE	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,368	5,308	5,199		0,060	0,086	58,6	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,053	0,077
	2						5,235	5,201								
	3						5,285	5,199								
	4						5,285	5,199								


Registro de ensayos de ultrasonido EDR 17.

REGISTRO DE ENSAYO DE ULTRASONIDO MEDICIÓN DE ESPEORES EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS																
CAPACIDAD: 1000 (m3/h) MARCA: SHANGHAI FIORENTINI AÑO DE INSTALACIÓN: 2010										EDR-17	EL ALTO					
																
LINEA PRINCIPAL DE REGULACION																
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)		Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant. (mm)	t act. (mm)								
TEE	1	40	3,91	2	352	0,596	3,914	3,853	3,813		0,061	0,061	52,4	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,050	0,064
	2						3,894	3,833								
	3						3,866	3,813								
TUBO	1	40	3,91	2	352	0,596	3,827	3,800	3,790		0,027	0,039	81,9	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,050	0,064
	2						3,824	3,802								
	3						3,830	3,791								
CODO	1	40	3,91	2	352	0,596	3,825	3,790	3,803		0,035	0,049	65,4	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,050	0,064
	2						3,901	3,882								
	3						3,908	3,880								
TUBO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	3,852	3,803	5,215		0,049	0,074	68,3	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,050	0,064
	2						5,270	5,215								
	3						5,488	5,450								
TEE	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,490	5,435	5,205		0,055	0,115	43,9	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,050	0,064
	2						5,378	5,304								
	3						5,430	5,368								
CODO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,320	5,205	5,361		0,115	0,082	63,4	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,050	0,064
	2						5,387	5,293								
	3						5,409	5,402								
LINEA STAND BY DE REGULACION																
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)		Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant. (mm)	t act. (mm)								
TUBO	1	40	3,91	2	352	0,596	3,919	3,893	3,829		0,026	0,054	60,3	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,045	0,057
	2						3,883	3,829								
	3						3,853	3,829								
TEE	1	40	3,91	2	352	0,596	3,882	3,853	3,830		0,029	0,041	78,9	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,045	0,057
	2						3,861	3,846								
	3						3,871	3,830								
CODO	1	40	3,91	2	352	0,596	3,912	3,906	3,785		0,006	0,062	51,4	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,045	0,057
	2						3,847	3,785								
	3						3,903	3,883								
TUBO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	3,906	3,893	5,322		0,013	0,096	53,5	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,045	0,057
	2						3,909	3,856								
	3						5,405	5,388								
CODO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,433	5,419	5,388		0,014	0,077	67,9	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,045	0,057
	2						5,418	5,322								
	3						5,417	5,322								
TEE	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,498	5,429	5,348		0,069	0,114	45,5	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,045	0,057
	2						5,465	5,388								
	3						5,458	5,393								
LINEA BY PASS DE REGULACION																
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)		Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant. (mm)	t act. (mm)								
TUBO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,314	5,272	5,262		0,042	0,091	56,1	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,046	0,067
	2						5,352	5,301								
	3						5,382	5,291								
CODO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,276	5,262	5,228		0,014	0,077	65,6	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,046	0,067
	2						5,294	5,228								
	3						5,359	5,282								
TEE	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,385	5,367	5,195		0,018	0,098	51,4	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,046	0,067
	2						5,318	5,308								
	3						5,378	5,280								


Registro de ensayos de ultrasonido EDR 18.

REGISTRO DE ENSAYO DE ULTRASONIDO MEDICIÓN DE ESPESORES EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS																								
CAPACIDAD: 1000 (m ³ /h)										EDR-18		EL ALTO												
MARCA: SHANGHAI FIORENTINI																								
AÑO DE INSTALACIÓN: 2011																								
																								
LINEA PRINCIPAL DE REGULACION																								
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)	Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)									
							t ant. (mm)	t act. (mm)																
TEE	1	40	5,49	3	385	0,978	5,540	5,422	5,401	0,118	0,118	37,5	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,049	0,063									
	2						5,460	5,457																
	3						5,410	5,401																
TUBO	1	40	5,49	3	385	0,978	5,454	5,452	5,392	0,002	0,083	53,2				LINEA PRINCIPAL DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,049	0,063						
	2						5,475	5,392																
	3						5,452	5,432																
CODO	1	40	5,49	3	385	0,978	5,411	5,406	5,308	0,005	0,062	69,8							LINEA PRINCIPAL DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,049	0,063			
	2						5,419	5,392																
	3						5,340	5,308																
TUBO	1	40	6,55	5	63,8	0,270	5,410	5,384	6,408	0,026	0,095	64,6										LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063
	2						5,383	5,321																
	3						6,503	6,408																
TEE	1	40	6,55	5	63,8	0,270	6,547	6,478	6,260	0,069	0,080	74,7	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063									
	2						6,522	6,429																
	3						6,516	6,495																
CODO	1	40	6,55	5	63,8	0,270	6,340	6,260	5,198	0,080	0,063	78,7				LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063						
	2						6,420	6,380																
	3						5,566	5,523																
	1						5,595	5,532											LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063			
	2						5,260	5,198																
	3						5,582	5,539																
	1						5,566	5,523														LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063
	2						5,595	5,532																
	3						5,260	5,198																
	1						5,582	5,539					LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063									
	2						5,566	5,523																
	3						5,595	5,532																
	1						5,595	5,532								LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063						
	2						5,260	5,198																
	3						5,582	5,539																
	1						5,582	5,539											LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063			
	2						5,566	5,523																
	3						5,595	5,532																
	1						5,566	5,523														LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063
	2						5,595	5,532																
	3						5,260	5,198																
	1						5,582	5,539					LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063									
	2						5,566	5,523																
	3						5,595	5,532																
	1						5,566	5,523								LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063						
	2						5,595	5,532																
	3						5,260	5,198																
	1						5,582	5,539											LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063			
	2						5,566	5,523																
	3						5,595	5,532																
	1						5,566	5,523														LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063
	2						5,595	5,532																
	3						5,260	5,198																
	1						5,582	5,539					LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063									
	2						5,566	5,523																
	3						5,595	5,532																
	1						5,566	5,523								LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063						
	2						5,595	5,532																
	3						5,260	5,198																
	1						5,582	5,539											LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063			
	2						5,566	5,523																
	3						5,595	5,532																
	1						5,566	5,523														LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063
	2						5,595	5,532																
	3						5,260	5,198																
	1						5,582	5,539					LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063									
	2						5,566	5,523																
	3						5,595	5,532																
	1						5,566	5,523								LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063						
	2						5,595	5,532																
	3						5,260	5,198																
	1						5,582	5,539											LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063			
	2						5,566	5,523																
	3						5,595	5,532																
	1						5,566	5,523														LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063
	2						5,595	5,532																
	3						5,260	5,198																
	1						5,582	5,539					LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063									
	2						5,566	5,523																
	3						5,595	5,532																
	1						5,566	5,523								LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063						
	2						5,595	5,532																
	3						5,260	5,198																
	1						5,582	5,539											LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063			
	2						5,566	5,523																
	3						5,595	5,532																
	1						5,566	5,523														LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063
	2						5,595	5,532																
	3						5,260	5,198																
	1						5,582	5,539					LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063									
	2						5,566	5,523																
	3						5,595	5,532																
	1						5,566	5,523								LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063						
	2						5,595	5,532																
	3						5,260	5,198																
	1						5,582	5,539											LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063			
	2						5,566	5,523																
	3						5,595	5,532																
	1						5,566	5,523														LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063
	2						5,595	5,532																
	3						5,260	5,198																
	1						5,582	5,539					LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063									
	2						5,566	5,523																
	3						5,595	5,532																
	1						5,566	5,523								LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063						
	2						5,595	5,532																
	3						5,260	5,198																
	1						5,582	5,539											LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063			
	2						5,566	5,523																
	3						5,595	5,532																
	1						5,566	5,523														LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063
	2						5,595	5,532																
	3						5,260	5,198																
	1						5,582	5,539					LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063									
	2						5,566	5,523																
	3						5,595	5,532																
	1						5,566	5,523								LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063						
	2						5,595	5,532																
	3						5,260	5,198																
	1						5,582	5,539											LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063			
	2						5,566	5,523																
	3						5,595	5,532																
	1						5,566	5,523														LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063
	2						5,595	5,532																
	3						5,260	5,198																
	1						5,582	5,539					LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063									
	2						5,566	5,523																
	3						5,595	5,532																
	1						5,566	5,523								LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063						
	2						5,595	5,532																
	3						5,260	5,198																
	1						5,582	5,539											LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063			
	2						5,566	5,523																
	3						5,595	5,532																
	1						5,566	5,523														LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063
	2						5,595	5,532																
	3						5,260	5,198																
	1						5,582	5,539					LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063									
	2						5,566	5,523																
	3						5,595	5,532																
	1						5,566	5,523								LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063						
	2						5,595	5,532																
	3						5,260	5,198																
	1						5,582	5,539											LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,063			
	2						5,566	5,523																
	3						5,595	5,532																
	1																							

Registro de ensayos de ultrasonido EDR 19.

REGISTRO DE ENSAYO DE ULTRASONIDO MEDICIÓN DE ESPEORES EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS															
CAPACIDAD: 1000 (m3/h) MARCA: TOTAL AÑO DE INSTALACIÓN: 2012											EDR-19	EL ALTO			
															
LINEA PRINCIPAL DE REGULACION															
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición		t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)							
TEE	1	40	5,49	3	374	0,950	5,494	5,488	5,325	0,006	0,091	48,0	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,064	0,083
	2						5,436	5,423		0,013					
	3						5,416	5,325		0,091					
TUBO	1	40	5,49	3	374	0,950	5,260	5,161	5,153	0,099	0,099	42,5	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,064	0,083
	2						5,490	5,410		0,080					
	3						5,320	5,270		0,050					
	4						5,130	5,153		-0,023					
TUBO	1	40	5,49	3	66	0,168	5,440	5,359	5,207	0,081	0,103	48,9	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,064	0,083
	2						5,400	5,359		0,041					
	3						5,310	5,207		0,103					
	4						5,290	5,260		0,030					
TEE	1	40	5,49	3	66	0,168	5,414	5,396	5,298	0,018	0,081	63,2	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,064	0,083
	2						5,379	5,298		0,081					
	3						5,435	5,357		0,078					
CODO	1	40	5,49	3	66	0,168	5,423	5,401	5,364	0,022	0,129	40,3	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,064	0,083
	2						5,470	5,406		0,064					
	3						5,493	5,364		0,129					
	4						5,478	5,383		0,095					
LINEA STAND BY DE REGULACION															
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición		t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)							
TUBO	1	40	5,49	3	374	0,950	5,350	5,340	5,315	0,010	0,089	49,0	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,047	0,062
	2						5,480	5,453		0,027					
	3						5,340	5,315		0,025					
	4						5,450	5,361		0,089					
TEE	1	40	5,49	3	374	0,950	5,406	5,347	5,347	0,059	0,059	74,8	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,047	0,062
	2						5,453	5,406		0,047					
	3						5,419	5,382		0,037					
TUBO	1	40	5,49	3	68,64	0,174	5,090	5,070	5,002	0,020	0,080	60,5	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,047	0,062
	2						5,390	5,310		0,080					
	3						5,030	5,002		0,028					
	4						5,300	5,258		0,042					
CODO	1	40	5,49	3	68,64	0,174	5,475	5,429	5,358	0,046	0,113	45,9	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,047	0,062
	2						5,479	5,455		0,024					
	3						5,471	5,358		0,113					
	4						5,478	5,426		0,052					
LINEA BY PASS DE REGULACION															
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición		t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)							
TUBO	1	40	3,91	2	60,5	0,102	3,910	3,886	3,789	0,024	0,054	68,3	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,029	0,047
	2						3,900	3,893		0,007					
	3						3,900	3,846		0,054					
	4						3,820	3,789		0,031					


Registro de ensayos de ultrasonido EDR 20.

REGISTRO DE ENSAYO DE ULTRASONIDO MEDICIÓN DE ESPESORES EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS																
CAPACIDAD:		2000 (m3/h)										EDR-20	EL ALTO			
MARCA:		TOTAL														
AÑO DE INSTALACIÓN:		NI														
																
LINEA PRINCIPAL DE REGULACION																
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)		Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)								
TEE	1	40	5,49	3	363	0,922	5,415	5,386	5,386	0,029	0,068	65,6	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR			
	2						5,410	5,396								0,014
	3						5,468	5,400								0,068
TUBO	1	40	5,49	3	363	0,922	5,360	5,315	5,315	0,045	0,086	51,1				
	2						5,420	5,334		0,086						
	3						5,466	5,437		0,029						
	4						5,459	5,439		0,020						
TUBO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,400	5,359	5,133	0,041	0,077	64,9	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,049	0,064	
	2						5,210	5,133		0,077						
	3						5,300	5,258		0,042						
	4						5,360	5,285		0,075						
TEE	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,497	5,465	5,366	0,032	0,072	72,3				
	2						5,494	5,422		0,072						
	3						5,410	5,366		0,044						
CODO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,398	5,372	5,350	0,026	0,090	57,6				
	2						5,475	5,402		0,073						
	3						5,457	5,429		0,028						
	4						5,440	5,350		0,090						
LINEA STAND BY DE REGULACION																
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)		Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)								
TUBO	1	40	5,49	3	363	0,922	5,530	5,522	5,236	0,008	0,078	55,3	LINEA STAND BY DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR			
	2						5,330	5,283		0,047						
	3						5,300	5,236		0,064						
	4						5,470	5,392		0,078						
TEE	1	40	5,49	3	363	0,922	5,426	5,366	5,344	0,060	0,074	59,6				
	2						5,418	5,344		0,074						
	3						5,423	5,364		0,059						
TUBO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,473	5,402	5,207	0,071	0,084	60,3	LINEA STAND BY DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR			
	2						5,260	5,207		0,053						
	3						5,490	5,406		0,084						
	4						5,420	5,388		0,032						
CODO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,481	5,386	5,353	0,095	0,095	54,5				
	2						5,480	5,461		0,019						
	3						5,414	5,353		0,061						
	4						5,456	5,380		0,076						
LINEA BY PASS DE REGULACION																
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)		Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)								
TUBO	1	40	3,91	2	63,8	0,108	3,860	3,812	3,606	0,048	0,054	65,3	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,041	0,067	
	2						3,950	3,908		0,042						
	3						3,660	3,606		0,054						
	4						3,905	3,886		0,019						


Registro de ensayos de ultrasonido EDR 21.

REGISTRO DE ENSAYO DE ULTRASONIDO MEDICIÓN DE ESPESES EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS															
CAPACIDAD: 5000 (m3/h)											EDR-21	EL ALTO			
MARCA: TOTAL															
AÑO DE INSTALACIÓN: NI															
															
LÍNEA PRINCIPAL DE REGULACION															
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición		t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant. (mm)	t act. (mm)							
CODO	1	40	5,49	3	385	0,978	5,490	5,463	5,361	0,027	0,108	40,7	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,053	0,068
	2						5,470	5,421		0,049					
	3						5,483	5,464		0,019					
	4						5,469	5,361		0,108					
TEE	1	40	5,49	3	385	0,978	5,425	5,349	5,349	0,076	0,096	45,3	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,053	0,068
	2						5,472	5,376		0,096					
	3						5,463	5,377		0,086					
	4														
TUBO	1	40	5,49	3	385	0,978	5,310	5,285	5,285	0,025	0,069	62,4	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,053	0,068
	2						5,453	5,384		0,069					
	3						5,370	5,361		0,009					
	4						5,370	5,361		0,009					
TUBO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,462	5,442	5,263	0,020	0,097	52,4	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,053	0,068
	2						5,360	5,263		0,097					
	3						5,310	5,309		0,001					
	4						5,390	5,359		0,031					
TEE	1	40	7,11	6	63,8	0,324	7,120	7,096	7,009	0,024	0,132	50,6	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,053	0,068
	2						7,106	7,082		0,024					
	3						7,141	7,009		0,132					
	4														
CODO	1	40	7,11	6	63,8	0,324	7,073	6,982	6,950	0,091	0,098	67,9	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,053	0,068
	2						7,132	7,106		0,026					
	3						7,026	6,975		0,051					
	4						7,048	6,950		0,098					
LÍNEA STAND BY DE REGULACION															
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición		t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant. (mm)	t act. (mm)							
TUBO	1	40	5,49	3	385	0,978	5,462	5,406	5,404	0,056	0,069	64,1	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,053	0,068
	2						5,473	5,404		0,069					
	3						5,438	5,412		0,026					
	4						5,436	5,409		0,027					
TEE	1	40	5,49	3	385	0,978	5,454	5,422	5,360	0,032	0,079	55,5	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,053	0,068
	2						5,477	5,398		0,079					
	3						5,392	5,360		0,032					
	4														
CODO	1	40	5,49	3	385	0,978	5,458	5,429	5,252	0,029	0,098	43,4	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,053	0,068
	2						5,325	5,302		0,023					
	3						5,490	5,402		0,088					
	4						5,350	5,252		0,098					
TUBO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,460	5,436	5,156	0,024	0,086	58,1	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,053	0,068
	2						5,386	5,334		0,052					
	3						5,210	5,156		0,054					
	4						5,412	5,326		0,086					
CODO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,390	5,334	5,334	0,056	0,068	76,1	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,053	0,068
	2						5,370	5,334		0,036					
	3						5,456	5,388		0,068					
	4						5,457	5,390		0,067					
LÍNEA BY PASS DE REGULACION															
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición		t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant. (mm)	t act. (mm)							
TEE	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,310	5,309	5,309	0,001	0,081	63,5	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,044	0,044
	2						5,460	5,412		0,048					
	3						5,461	5,380		0,081					

Registro de ensayos de ultrasonido EDR 22.

REGISTRO DE ENSAYO DE ULTRASONIDO MEDICIÓN DE ESPESORES EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS																	
CAPACIDAD:		2000 (m3/h)										EDR-22	EL ALTO				
MARCA:		TOTAL															
AÑO DE INSTALACIÓN:		2014															
																	
LINEA PRINCIPAL DE REGULACION																	
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)		Medición (n)		t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lr (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)	t ant.(mm)	t act.(mm)							
TEE	1	40	5,49	3	363	0,922	5,423	5,395	5,395	5,395	0,028	0,091	49,4	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,059	0,076	
	2						5,494	5,403									0,091
	3						5,414	5,408									0,006
TUBO	1	40	5,49	3	363	0,922	5,300	5,234	5,234	5,234	0,066	0,066	65,3	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,059	0,076	
	2						5,350	5,306									0,044
	3						5,530	5,509									0,021
	4						5,390	5,363									0,027
TUBO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,430	5,363	5,363	5,363	0,067	0,088	59,0	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,059	0,076	
	2						5,452	5,406									0,046
	3						5,490	5,440									0,050
	4						5,500	5,412									0,088
TEE	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,481	5,393	5,353	5,353	0,088	0,088	59,0	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,059	0,076	
	2						5,418	5,353									0,065
	3						5,472	5,404									0,067
CODO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,425	5,328	5,328	5,328	0,097	0,097	53,1	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,059	0,076	
	2						5,474	5,414									0,060
	3						5,461	5,410									0,051
	4						5,475	5,380									0,095
LINEA STAND BY DE REGULACION																	
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)		Medición (n)		t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lr (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)	t ant.(mm)	t act.(mm)							
TUBO	1	40	5,49	3	363	0,922	5,200	5,188	5,188	5,188	0,012	0,038	112,9	LINEA STAND BY DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,039	0,052	
	2						5,475	5,437									0,038
	3						5,451	5,413									0,038
	4						5,420	5,415									0,005
TEE	1	40	5,49	3	363	0,922	5,417	5,404	5,404	5,404	0,013	0,032	140,1	LINEA STAND BY DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,039	0,052	
	2						5,494	5,462									0,032
	3						5,463	5,437									0,026
TUBO	1	40	5,49	3	66	0,168	5,290	5,288	5,207	5,207	0,002	0,093	54,2	LINEA STAND BY DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,039	0,052	
	2						5,300	5,207									0,093
	3						5,310	5,307									0,003
	4						5,458	5,383									0,075
CODO	1	40	5,49	3	66	0,168	5,456	5,421	5,383	5,383	0,035	0,091	57,4	LINEA STAND BY DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,039	0,052	
	2						5,490	5,399									0,091
	3						5,478	5,428									0,050
	4						5,459	5,383									0,076
LINEA BY PASS DE REGULACION																	
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)		Medición (n)		t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lr (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)	t ant.(mm)	t act.(mm)							
TUBO	1	40	3,91	2	63,8	0,108	3,720	3,712	3,712	3,712	0,008	0,060	60,1	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,030	0,048	
	2						3,930	3,907									0,023
	3						3,905	3,878									0,027
	4						3,890	3,830									0,060

Registro de ensayos de ultrasonido EDR 28.

REGISTRO DE ENSAYO DE ULTRASONIDO MEDICIÓN DE ESPORES EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS															
CAPACIDAD: 2000 (m3/h)											EDR-28	EL ALTO			
MARCA: TOTAL															
AÑO DE INSTALACIÓN: 2014															
															
LINEA PRINCIPAL DE REGULACION															
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retro (mm)	Medición (n-1)	Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)							
TEE	1	40	5,49	3	374	0,950	5,425	5,402	5,402	0,023	0,071	62,7	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,051	0,066
	2						5,488	5,466		0,022					
	3						5,479	5,408		0,071					
TUBO	1	40	5,49	3	374	0,950	5,380	5,305	5,305	0,075	0,075	57,9	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,051	0,066
	2						5,500	5,486		0,014					
	3						5,460	5,436		0,024					
	4						5,451	5,436		0,015					
TUBO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,451	5,412	5,302	0,039	0,068	75,6	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,051	0,066
	2						5,370	5,337		0,033					
	3						5,462	5,401		0,061					
	4						5,370	5,302		0,068					
TEE	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,462	5,412	5,338	0,050	0,083	62,3	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,051	0,066
	2						5,464	5,437		0,027					
	3						5,421	5,338		0,083					
CODO	1	40	5,49	3	63,8	0,162	5,421	5,366	5,350	0,055	0,100	51,9	LINEA PRINCIPAL DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,051	0,066
	2						5,490	5,411		0,079					
	3						5,425	5,350		0,075					
	4						5,496	5,396		0,100					
LINEA STAND BY DE REGULACION															
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retro (mm)	Medición (n-1)	Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)							
TUBO	1	40	5,49	3	374	0,950	5,451	5,413	5,240	0,038	0,071	60,8	LINEA STAND BY DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,037	0,050
	2						5,463	5,421		0,042					
	3						5,250	5,240		0,010					
	4						5,430	5,359		0,071					
TEE	1	40	5,49	3	374	0,950	5,484	5,466	5,404	0,018	0,053	84,0	LINEA STAND BY DE REGULACION ANTES DEL REGULADOR	0,037	0,050
	2						5,470	5,417		0,053					
	3						5,412	5,404		0,008					
TUBO	1	40	5,49	3	59,4	0,151	5,427	5,356	5,309	0,071	0,071	72,2	LINEA STAND BY DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,037	0,050
	2						5,434	5,393		0,041					
	3						5,380	5,309		0,071					
	4						5,370	5,341		0,029					
CODO	1	40	5,49	3	59,4	0,151	5,465	5,452	5,407	0,013	0,060	87,9	LINEA STAND BY DE REGULACION DESPUES DEL REGULADOR	0,037	0,050
	2						5,427	5,407		0,020					
	3						5,497	5,479		0,018					
	4						5,467	5,407		0,060					
LINEA BY PASS DE REGULACION															
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retro (mm)	Medición (n-1)	Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)							
TUBO	1	40	3,91	2	60,5	0,102	3,750	3,705	3,705	0,045	0,045	79,3	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,020	0,033
	2						3,907	3,883		0,024					
	3						3,800	3,789		0,011					
	4						3,911	3,910		0,001					

Registro de ensayos de ultrasonido EDR 32.

REGISTRO DE ENSAYO DE ULTRASONIDO MEDICIÓN DE ESPESORES EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS																
CAPACIDAD:		2000 (m3/h)										EDR-32	EL ALTO			
MARCA:		TOTAL														
AÑO DE INSTALACIÓN:		2017														
																
LINEA PRINCIPAL DE REGULACION																
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)		Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)								
TEE	1	40	5,49	3	352	0,894	5,427	5,368	5,368	0,059	0,102	43,7	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,062	0,081	
	2						5,497	5,395								0,102
	3						5,486	5,447								0,039
TUBO	1	40	5,49	3	352	0,894	5,465	5,436	5,285	0,029	0,077	57,0	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,062	0,081	
	2						5,434	5,413								0,021
	3						5,362	5,285								0,077
	4						5,364	5,307								0,057
TUBO	1	40	5,49	3	61,6	0,156	5,388	5,310	5,310	0,078	0,105	49,3	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,081	
	2						5,384	5,339								0,045
	3						5,476	5,372								0,105
	4						5,376	5,366								0,010
TEE	1	40	5,49	3	61,6	0,156	5,480	5,471	5,381	0,009	0,115	45,5	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,081	
	2						5,462	5,442								0,020
	3						5,496	5,381								0,115
CODO	1	40	5,49	3	61,6	0,156	5,452	5,355	5,315	0,097	0,098	52,5	LINEA PRINCIPAL DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,062	0,081	
	2						5,478	5,413								0,065
	3						5,412	5,315								0,097
	4						5,484	5,386								0,098
LINEA STAND BY DE REGULACION																
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)		Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)								
TUBO	1	40	5,49	3	352	0,894	5,470	5,397	5,366	0,073	0,088	50,7	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,048	0,064	
	2						5,466	5,393								0,073
	3						5,467	5,437								0,030
	4						5,454	5,366								0,088
TEE	1	40	5,49	3	352	0,894	5,497	5,438	5,415	0,059	0,059	76,6	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN ANTES DEL REGULADOR	0,048	0,064	
	2						5,425	5,415								0,010
	3						5,486	5,468								0,018
TUBO	1	40	5,49	3	61,6	0,156	5,470	5,412	5,313	0,058	0,097	53,4	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,048	0,064	
	2						5,468	5,434								0,034
	3						5,413	5,366								0,047
	4						5,410	5,313								0,097
CODO	1	40	5,49	3	61,6	0,156	5,400	5,375	5,375	0,025	0,056	93,2	LINEA STAND BY DE REGULACIÓN DESPUES DEL REGULADOR	0,048	0,064	
	2						5,499	5,455								0,044
	3						5,460	5,404								0,056
	4						5,471	5,461								0,010
LINEA BY PASS DE REGULACION																
OBJETO	N	SCH	t original (mm)	Ø Exterior (plg)	Presión Max. De Operación (psig)	t de retiro (mm)	Medición (n-1)		Medición (n)	t crítico (mm)	Velocidad de desgaste v (mm/año)	Velocidad crítica vc (mm/año)	Vida Restante Lre (año)	REFERENCIA	Velocidad de desgaste promedio Vprom (mm/año)	Velocidad de desgaste máximo Vmáx. (mm/año)
							t ant.(mm)	t act.(mm)								
TUBO	1	40	3,91	2	61,6	0,104	3,780	3,746	3,708	0,034	0,051	70,9	LINEA BY PASS DE REGULACION	0,032	0,053	
	2						3,750	3,708								0,042
	3						3,840	3,837								0,003
	4						3,910	3,859								0,051

Anexo D Resultados obtenidos para las gráficas de la media y rango de las velocidades de desgaste.

EDR-2

OBJETOS	TEE (LP1)	TUBO (LP1)	TUBO (LP2)	TEE (LP2)	CODO (LP2)	CODO (LSB1)	TEE (LSB1)	CODO (LSB2)	TUBO (LSB2)	TUBO (LBP)	CODO (LBP)
MEDIA (mm/año)	0,029	0,036	0,059	0,049	0,085	0,056	0,037	0,051	0,061	0,056	0,054
		LC	0,052		LSCX	0,112		LICX	0,000		
RANGO (mm/año)	0,072	0,103	0,142	0,098	0,034	0,107	0,082	0,034	0,094	0,060	0,082
		LC	0,083		LSC	0,188		LIC	0,000		

EDR-3

OBJETOS	TEE (LP1)	TUBO (LP1)	TEE (LP2)	CODO (LP2)	TUBO (LP2)	CODO (LSB1)	TEE (LSB1)	CODO (LSB2)	TUBO (LSB2)	TUBO (LBP)	CODO (LBP)
MEDIA (mm/año)	0,074	0,110	0,109	0,098	0,092	0,060	0,082	0,048	0,046	0,074	0,061
		LC	0,078		LSCX	0,145		LICX	0,010		
RANGO (mm/año)	0,104	0,162	0,064	0,129	0,130	0,117	0,041	0,069	0,073	0,077	0,057
		LC	0,093		LSC	0,212		LIC	0,000		

EDR-4

OBJETOS	TEE (LP1)	TUBO (LP1)	TEE (LP2)	CODO (LP2)	TUBO (LP2)	CODO (LSB1)	TEE (LSB1)	CODO (LSB2)	TUBO (LSB2)	TUBO (LBP)	CODO (LBP)
MEDIA (mm/año)	0,073	0,053	0,107	0,125	0,039	0,034	0,016	0,041	0,063	0,033	0,020
		LC	0,055		LSCX	0,098		LICX	0,011		
RANGO (mm/año)	0,024	0,096	0,117	0,094	0,093	0,047	0,021	0,051	0,061	0,020	0,030
		LC	0,059		LSC	0,136		LIC	0,000		

EDR-5

OBJETOS	TEE (LP1)	TUBO (LP1)	TUBO (LP2)	TEE (LP2)	CODO (LP2)	TUBO (LSB1)	TEE (LSB1)	TUBO (LSB2)	CODO (LSB2)	TUBO (LBP)
MEDIA (mm/año)	0,075	0,040	0,052	0,091	0,059	0,075	0,061	0,065	0,058	0,035
		LC	0,061		LSCX	0,120		LICX	0,002	
RANGO (mm/año)	0,091	0,037	0,097	0,096	0,153	0,052	0,058	0,045	0,125	0,055
		LC	0,081		LSC	0,185		LIC	0,000	

EDR-6

OBJETOS	TEE (LP1)	TUBO (LP1)	CODO (LP1)	TUBO (LP2)	TEE (LP2)	CODO (LP2)	TUBO (LSB1)	TEE (LSB1)	CODO (LSB1)	TUBO (LSB2)	CODO (LSB2)	TEE (LSB2)	TUBO (LBP)	CODO (LBP)	TEE (LBP)
MEDIA (mm/año)	0,081	0,046	0,074	0,075	0,093	0,090	0,066	0,082	0,024	0,052	0,048	0,057	0,062	0,047	0,040
		LC	0,062				LSCX	0,109				LICX	0,016		
RANGO (mm/año)	0,077	0,084	0,087	0,038	0,049	0,110	0,044	0,019	0,054	0,048	0,062	0,040	0,065	0,081	0,093
		LC	0,063				LSC	0,145				LIC	0,000		

EDR-7

OBJETOS	TUBO (LP1)	TEE (LP1)	TUBO (LP2)	TEE (LP2)	CODO (LP2)	CODO (LSB1)	TUBO (LSB1)	TEE (LSB1)	TUBO (LSB2)	CODO (LSB2)	TUBO (LBP)	CODO (LBP)
MEDIA (mm/año)	0,069	0,035	0,055	0,046	0,092	0,036	0,069	0,017	0,046	0,045	0,042	0,047
		LC	0,050			LSCX	0,099			LICX	0,001	
RANGO (mm/año)	0,073	0,044	0,082	0,083	0,203	0,057	0,030	0,023	0,041	0,064	0,035	0,072
		LC	0,067			LSC	0,153			LIC	0,000	

EDR-8

OBJETOS	TEE (LP1)	TUBO (LP1)	TUBO (LP2)	TEE (LP2)	CODO (LP2)	TUBO (LSB1)	TEE (LSB1)	TUBO (LSB2)	CODO (LSB2)	TUBO (LBP)
MEDIA (mm/año)	0,089	0,090	0,065	0,071	0,070	0,056	0,081	0,110	0,105	0,061
		LC	0,080			LSCX	0,154		LICX	0,006
RANGO (mm/año)	0,136	0,091	0,113	0,101	0,130	0,061	0,078	0,066	0,096	0,145
		LC	0,102			LSC	0,232		LIC	0,000

EDR-9

OBJETOS	TEE (LP1)	TUBO (LP1)	TUBO (LP2)	TEE (LP2)	CODO (LP2)	TUBO (LSB1)	TEE (LSB1)	TUBO (LSB2)	CODO (LSB2)	TUBO (LBP)
MEDIA (mm/año)	0,120	0,046	0,076	0,041	0,083	0,056	0,053	0,057	0,073	0,043
		LC	0,065			LSCX	0,123		LICX	0,007
RANGO (mm/año)	0,062	0,127	0,054	0,060	0,048	0,086	0,047	0,093	0,167	0,049
		LC	0,079			LSC	0,181		LIC	0,000

EDR-10

OBJETOS	TEE (LP1)	TUBO (LP1)	CODO (LP1)	TUBO (LP2)	TEE (LP2)	CODO (LP2)	TUBO (LSB1)	TEE (LSB1)	CODO (LSB1)	TUBO (LSB2)	CODO (LSB2)	TEE (LSB2)	TUBO (LBP)	CODO (LBP)	TEE (LBP)
MEDIA (mm/año)	0,033	0,077	0,045	0,064	0,084	0,069	0,048	0,041	0,042	0,025	0,053	0,054	0,056	0,059	0,047
		LC	0,053				LSCX	0,109				LICX	0,000		
RANGO (mm/año)	0,051	0,079	0,070	0,094	0,021	0,114	0,089	0,045	0,089	0,050	0,088	0,106	0,089	0,080	0,093
		LC	0,077				LSC	0,176				LIC	0,000		

EDR-11

OBJETOS	TEE (LP1)	TUBO (LP1)	CODO (LP1)	TUBO (LP2)	TEE (LP2)	CODO (LP2)	TUBO (LSB1)	TEE (LSB1)	CODO (LSB1)	TUBO (LSB2)	CODO (LSB2)	TEE (LSB2)	TUBO (LBP)	CODO (LBP)	TEE (LBP)
MEDIA (mm/año)	0,049	0,044	0,039	0,041	0,066	0,028	0,022	0,020	0,051	0,088	0,057	0,085	0,039	0,054	0,030
		LC	0,048				LSCX	0,092				LICX	0,003		
RANGO (mm/año)	0,067	0,076	0,040	0,075	0,080	0,057	0,043	0,041	0,041	0,102	0,060	0,058	0,058	0,050	0,073
		LC	0,061				LSC	0,140				LIC	0,000		

EDR-12

OBJETOS	TUBO (LP1)	TEE (LP1)	TUBO (LP2)	TEE (LP2)	CODO (LSB2)	TUBO (LSB2)	CODO (LBP)	TUBO (LBP)
MEDIA (mm/año)	0,066	0,071	0,055	0,071	0,060	0,056	0,056	0,029
	LC	0,058		LSCX	0,119		LICX	0,000
RANGO (mm/año)	0,139	0,036	0,097	0,112	0,078	0,081	0,081	0,050
	LC	0,084		LSC	0,192		LIC	0,000

EDR-13

OBJETOS	TEE (LP1)	TUBO (LP1)	CODO (LP1)	TUBO (LP2)	TEE (LP2)	CODO (LP2)	TUBO (LSB1)	TEE (LSB1)	CODO (LSB1)	TUBO (LSB2)	CODO (LSB2)	TEE (LSB2)	TUBO (LBP)	CODO (LBP)	TEE (LBP)
MEDIA (mm/año)	0,057	0,042	0,026	0,044	0,061	0,041	0,018	0,061	0,026	0,042	0,050	0,042	0,061	0,038	0,067
		LC	0,045				LSCX	0,084				LICX	0,006		
RANGO (mm/año)	0,067	0,027	0,037	0,054	0,044	0,038	0,049	0,042	0,026	0,059	0,039	0,100	0,079	0,061	0,072
		LC	0,053				LSC	0,121				LIC	0,000		

EDR-14

OBJETOS	TEE (LP1)	TUBO (LP1)	CODO (LP1)	TUBO (LP2)	TEE (LP2)	CODO (LP2)	TUBO (LSB1)	TEE (LSB1)	CODO (LSB1)	TUBO (LSB2)	CODO (LSB2)	TEE (LSB2)	TUBO (LBP)	CODO (LBP)	TEE (LBP)
MEDIA (mm/año)	0,059	0,071	0,061	0,024	0,044	0,075	0,015	0,044	0,021	0,097	0,068	0,069	0,072	0,053	0,067
		LC	0,056				LSCX	0,108				LICX	0,004		
RANGO (mm/año)	0,124	0,100	0,043	0,058	0,038	0,124	0,040	0,046	0,034	0,072	0,137	0,078	0,038	0,060	0,072
		LC	0,071				LSC	0,162				LIC	0,000		

EDR-15

OBJETOS	TEE (LP1)	TUBO (LP1)	TUBO (LP2)	TEE (LP2)	CODO (LP2)	TUBO (LSB1)	TEE (LSB1)	TUBO (LSB2)	CODO (LSB2)	TUBO (LBP)
MEDIA (mm/año)	0,066	0,080	0,061	0,045	0,081	0,035	0,047	0,043	0,069	0,027
		LC	0,055		LSCX	0,105		LICX	0,006	
RANGO (mm/año)	0,052	0,071	0,032	0,076	0,081	0,064	0,052	0,058	0,139	0,053
		LC	0,068		LSC	0,154		LIC	0,000	

EDR-16

OBJETOS	TEE (LP1)	TUBO (LP1)	CODO (LP1)	TUBO (LP2)	TEE (LP2)	CODO (LP2)	TUBO (LSB1)	TEE (LSB1)	CODO (LSB1)	TUBO (LSB2)	CODO (LSB2)	TEE (LSB2)	TUBO (LBP)	CODO (LBP)	TEE (LBP)
MEDIA (mm/año)	0,010	0,028	0,019	0,031	0,031	0,039	0,028	0,026	0,033	0,043	0,039	0,049	0,068	0,038	0,060
		LC	0,036				LSCX	0,074				LICX	0,000		
RANGO (mm/año)	0,021	0,059	0,038	0,032	0,055	0,059	0,042	0,057	0,051	0,023	0,084	0,095	0,034	0,069	0,052
		LC	0,051				LSC	0,117				LIC	0,000		

EDR-17

OBJETOS	TEE (LP1)	TUBO (LP1)	CODO (LP1)	TUBO (LP2)	TEE (LP2)	CODO (LP2)	TUBO (LSB1)	TEE (LSB1)	CODO (LSB1)	TUBO (LSB2)	CODO (LSB2)	TEE (LSB2)	TUBO (LBP)	CODO (LBP)	TEE (LBP)
MEDIA (mm/año)	0,058	0,031	0,033	0,056	0,090	0,046	0,033	0,020	0,037	0,056	0,064	0,055	0,049	0,043	0,055
		LC	0,048				LSCX	0,086				LICX	0,011		
RANGO (mm/año)	0,009	0,017	0,030	0,036	0,053	0,075	0,030	0,035	0,049	0,082	0,034	0,096	0,077	0,067	0,080
		LC	0,051				LSC	0,117				LIC	0,000		

EDR-18

OBJETOS	TEE (LP1)	TUBO (LP1)	CODO (LP1)	TUBO (LP2)	TEE (LP2)	CODO (LP2)	TUBO (LSB1)	CODO (LSB1)	TUBO (LSB2)	CODO (LSB2)	TEE (LSB2)	CODO (LBP)	TUBO (LBP)	TEE (LBP)
MEDIA (mm/año)	0,043	0,027	0,037	0,087	0,047	0,053	0,054	0,052	0,094	0,069	0,060	0,077	0,039	0,077
		LC	0,058				LSCX	0,109				LICX	0,008	
RANGO (mm/año)	0,115	0,081	0,036	0,026	0,059	0,019	0,059	0,073	0,089	0,070	0,069	0,098	0,097	0,076
		LC	0,069				LSC	0,158				LIC	0,000	

EDR-19

OBJETOS	TEE (LP1)	TUBO (LP1)	TUBO (LP2)	TEE (LP2)	CODO (LP2)	TUBO (LSB1)	TEE (LSB1)	TUBO (LSB2)	CODO (LSB2)	TUBO (LBP)
MEDIA (mm/año)	0,037	0,063	0,064	0,059	0,078	0,038	0,048	0,043	0,059	0,029
		LC	0,052			LSCX	0,103		LICX	0,000
RANGO (mm/año)	0,086	0,076	0,073	0,063	0,107	0,079	0,022	0,060	0,089	0,047
		LC	0,070			LSC	0,160		LIC	0,000

EDR-20

OBJETOS	TEE (LP1)	TUBO (LP1)	TUBO (LP2)	TEE (LP2)	CODO (LP2)	TUBO (LSB1)	TEE (LSB1)	TUBO (LSB2)	CODO (LSB2)	TUBO (LBP)
MEDIA (mm/año)	0,037	0,045	0,059	0,049	0,054	0,049	0,064	0,060	0,063	0,041
		LC	0,052			LSCX	0,089		LICX	0,015
RANGO (mm/año)	0,054	0,066	0,036	0,040	0,064	0,070	0,015	0,052	0,076	0,035
		LC	0,051			LSC	0,116		LIC	0,000

EDR-21

OBJETOS	CODO (LP1)	TEE (LP1)	TUBO (LP1)	TUBO (LP2)	TEE (LP2)	CODO (LP2)	TUBO (LSB1)	TEE (LSB1)	CODO (LSB1)	TUBO (LSB2)	CODO (LSB2)	TEE (LBP)
MEDIA (mm/año)	0,050	0,086	0,028	0,037	0,060	0,066	0,045	0,048	0,059	0,054	0,057	0,044
		LC	0,053				LSCX	0,100		LICX	0,005	
RANGO (mm/año)	0,089	0,020	0,060	0,096	0,108	0,072	0,043	0,047	0,076	0,062	0,032	0,080
		LC	0,065				LSC	0,149		LIC	0,000	

EDR-22

OBJETOS	TEE (LP1)	TUBO (LP1)	TUBO (LP2)	TEE (LP2)	CODO (LP2)	TUBO (LSB1)	TEE (LSB1)	TUBO (LSB2)	CODO (LSB2)	TUBO (LBP)
MEDIA (mm/año)	0,042	0,040	0,063	0,073	0,076	0,023	0,024	0,043	0,063	0,030
		LC	0,048		LSCX	0,083		LICX	0,012	
RANGO (mm/año)	0,085	0,045	0,043	0,023	0,047	0,033	0,019	0,091	0,056	0,052
		LC	0,049		LSC	0,113		LIC	0,049	

EDR-28

OBJETOS	TEE (LP1)	TUBO (LP1)	TUBO (LP2)	TEE (LP2)	CODO (LP2)	TUBO (LSB1)	TEE (LSB1)	TUBO (LSB2)	CODO (LSB2)	TUBO (LBP)
MEDIA (mm/año)	0,039	0,032	0,050	0,054	0,077	0,040	0,026	0,053	0,028	0,020
		LC	0,042		LSCX	0,077		LICX	0,006	
RANGO (mm/año)	0,049	0,062	0,035	0,056	0,045	0,061	0,045	0,043	0,046	0,045
		LC	0,049		LSC	0,111		LIC	0,000	

EDR-32

OBJETOS	TEE (LP1)	TUBO (LP1)	TUBO (LP2)	TEE (LP2)	CODO (LP2)	TUBO (LSB1)	TEE (LSB1)	TUBO (LSB2)	CODO (LSB2)	TUBO (LBP)
MEDIA (mm/año)	0,067	0,046	0,059	0,048	0,089	0,066	0,029	0,059	0,034	0,032
		LC	0,053		LSCX	0,098		LICX	0,008	
RANGO (mm/año)	0,063	0,056	0,095	0,105	0,034	0,058	0,049	0,063	0,046	0,048
		LC	0,062		LSC	0,141		LIC	0,000	

Anexo E Cotizaciones del equipo de medición ultrasónica.

Figura E-1 Cotización Helios Precisión.



COTIZACION

PARA: LURDES QUISPE	DE: HELIOS S.R.L.
EMPRESA: UMSA	REF: DM5E
FECHA: 01 de Julio de 2021	N°: COTHT-21007007_DM5E

De acuerdo a su solicitud, tenemos el agrado de cotizar lo siguiente:

PRECIOS EXPRESADOS EN BOLIVIANOS

Item	Descripción	Cant	Unit.	Subtotal.
01	<p>Medidor Digital Ultrasónico de Espesor GE Inspection Technologies DM5E, con método de medición PULSO-ECO. Rango de medición de 0.6 a 508 mm (0.025" a 20.00") dependiendo del palpador y del material a medir. Resolución de medición de 0,01 mm por defecto - Seleccionable 0,01, 0,1 mm (0,001 "Default - Seleccionable 0,001, 0,01"). Rango de Velocidad de material 0,508 a 18,699 mm / mseg (0,0200 a 0,7362 " / ms). Unidades de medición en pulgada o Milímetro. Calibración de un punto de Cal, en bloque y fuera de bloque, de dos puntos de Cal. Con función DUAL MULTI para mediciones sobre superficies con pintura evitando el tratado de la superficie previa la inspección (no cuantifica el espesor del recubrimiento). MIN SCAN / MAX SCAN que captura y despliega en pantalla el valor mínimo o máximo de espesor de un barrido sobre una superficie. DIFF / RR% que compara la medición con un valor de referencia, el resultado se despliega como diferencia o porcentaje. B-SCAN muestra en pantalla una representación grafica seccionada del espesor de pared en función al tiempo (escaneo de un punto por segundo). Configuración de alarmas por mínimo y máximo. Idioma seleccionable que incluye español.</p> <p>Incluye: baterías alcalinas, frasco de gel acoplante (100gr), maletín plástico de transporte, manual de usuario en CD y certificado de manufactura.</p> <p>Opcionales no Incluidos:</p> <ul style="list-style-type: none"> No incluye Función registrador de datos, 50000 datos en memoria. 	1	26882,10	26882,10
02	Transductor, 7,5 Mhz, rango de 0,6 a 60 mm (acero), DA512 (incluye cable)	1	6343,10	6343,10
03	Bloque calibrador de 5 pasos. Con certificado de calibración de fábrica. Modelo: B-310	1	5145,00	5145,00



Av. Beni calle Mururé N° 2055 - Telf. 3 3433818 - Fax 3 3125745 - Web: www.helios.com.bo
SANTA CRUZ - BOLIVIA




04	Certificado de Calibración para DM5 E (emitido por Helios)	1	Sin Costo	Sin Costo
TOTAL				38370,20
SON: TREINTA Y OCHO MIL TRESCIENTOS SETENTA 20/100 BOLIVIANOS				
(Incluye Impuestos y entrega en almacenes)				

Validez de la oferta: 30 días
Forma de pago: 100% Previa entrega del equipo.
Garantía: 12 meses contra defectos de fabricación
Tiempo de entrega: Inmediato.

Fuente: Empresa Helios Precisión (2021).

Figura E-2 Cotización Measurement & Control Solutions Corp.



MEASUREMENT & CONTROL SOLUTIONS CORP.
 8329 NW 66th STREET
 Miami FL, 33166
 +1 305 704 8548

Recepcion de O.C: marco.moncarrate@mcscorpusa.com

Dirigido a: Lurdés Alberto

Bolivia, Ecuador
 50169971170
 listen501@hotmail.com

Cotización

Fecha: 18/7/2021
 Oferta Nro: TAB04321
 Ref:

Terminos de Pago y Condiciones

Validez: 30 días calendario
 Tiempo de entrega: 4-6 semanas
 Forma de pago: 100% con OC
 Entrega / Incoterm: EXW, Miami, FL, USA.

Vendedor: Pedro Perugachi

#	Descripción	Cant	Unidad	Precio Unitario	Subtotal
1	Medidor Digital Ultrasonico de Espesor GE Inspection Technologies DM5E, con método de medición ECO-PULSO. Rango de medición de 0.6 a 508 mm (0.025" a 20.00") dependiendo del palpador y del material a medir. Resolución de medición de 0,01 mm por defecto - Seleccionable 0,01, 0,1 mm (0,001 "Default - Seleccionable 0,001, 0,01"). Rango de Velocidad de material 0,508 a 18,699 mm / mseg (0,0200 a 0,7362 "/ ms). Unidades de medición en pulgada o Milímetro. Calibración de un punto de Cal, en bloque y fuera de bloque, de dos puntos de Cal. Con función DUAL MULTI para mediciones sobre superficies con pintura evitando el tratado de la superficie previa la inspección. - Incluye transductor DA 512 (frecuencia 7,5 MHz, rango 0,6 - 60 mm en acero), cable, certificado de calibración de fábrica).	1	EA	2.481,61	2.481,61
2	Bloque de calibración de 5 pasos. Marca GE	1	EA	232,76	232,76
3	Envío a Bolivia	1	EA	300,00	300,00
Total(USD)					3.014,37

Comentarios:

Garantía: 1 año por defectos de fábrica más no por mal uso o almacenamiento

Capacitación: N/A

Errores de forma o de cálculo en esta oferta están sujetos a corrección, incluyendo ajustes de precio

El tiempo de entrega ofrecido es referencial y será confirmado al momento de recibir la orden de compra

Los precios cotizados están basados en el incoterm específico ofrecido

CONVIÉRTETE EN NUESTRO CLIENTE Y OBTÉN VALOR AGREGADO

Entrenamiento en uso y manejo de los equipos sin costo adicional

Soporte Post-Venta 24/7 los 365 días del año: garantía, mantenimiento, reparación, repuestos

Descuento en cursos de certificación en ENI, bajo esquema ASNT e ISO

Descuento en servicios de calibración con certificados emitidos por laboratorio acreditado bajo ISO 17025

MEASUREMENT CONTROL SOLUTIONS CORP.
 Tecnología que optimiza el mundo

Ensayos no destructivos - Análisis de materiales - Instrumentación - Recubrimientos

www.mcscorpusa.com

Fuente: Empresa Measurement & Control Solutions Corp. (2021).

Anexo F Programa anual de contrataciones (PAC).

No.	TIPO DE CONTRATACIÓN	CÓDIGO OBJETIVO POA	OBJETO DE LA CONTRATACIÓN	NORMATIVA	COD. PROY. DE INVERSIÓN (COD. SIN C/CA MATRIZ) COD. SI/PRO-SUBSIDIARIAS)	VALOR TOTAL ESTIMADO EN BOLIVIANOS	FECHA ESTIMADA DE INGRESO DE SOLICITUD A GOC	REG. CORRELATIVO (USO EXCLUSIVO DE LA DNP COP)
83	CONSULTORIA	4.23.1.5	CONSULTOR INDIVIDUAL DE LINEA DRLA - SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO SISTEMA PRIMARIO - CIUDAD EL ALTO - 1	RE.SABS	0513-00029-00000	115.209,00	01/04/2019	1041
84	CONSULTORIA	4.23.1.5	CONSULTOR INDIVIDUAL DE LINEA DRLA - TECNICO OPERATIVO DE MANTENIMIENTO DE SISTEMA DE PROTECCION CATODICA - CIUDAD EL ALTO - 2 CONSULTORES	RE.SABS	0513-00029-00000	139.066,00	01/04/2019	1037
85	CONSULTORIA	4.23.1.5	CONSULTOR INDIVIDUAL DE LINEA DRLA - SUPERVISOR DE CALIBRACION E INSTRUMENTACION - CIUDAD EL ALTO - 1 CONSULTOR	RE.SABS	0513-00029-00000	115.209,00	01/04/2019	1042
86	CONSULTORIA	4.23.1.5	CONSULTOR INDIVIDUAL DE LINEA DRLA - TECNICO OPERATIVO DE MANTENIMIENTO DE CAMARAS, VALVULAS, EDR Y CITY GATES - CIUDAD EL ALTO - 1 CONSULTOR	RE.SABS	0513-00029-00000	69.534,00	01/04/2019	1043
87	CONSULTORIA	4.23.1.5	CONSULTOR INDIVIDUAL DE LINEA DRLA - SUPERVISOR DE LECTURACION DOMESTICA Y COMERCIAL - CIUDAD EL ALTO - 4 CONSULTORES	RE.SABS	0513-00029-00000	379.188,00	01/04/2019	1044
88	CONSULTORIA	4.23.1.5	CONSULTOR INDIVIDUAL DE LINEA DRLA - CHOFER OPERATIVO - CIUDAD EL ALTO - 1 CONSULTOR	RE.SABS	0513-00029-00000	46.854,00	01/04/2019	3949
89	CONSULTORIA	4.23.1.5	CONSULTOR INDIVIDUAL DE LINEA DRLA - AUXILIAR OPERATIVO - CIUDAD EL ALTO - 1 CONSULTOR	RE.SABS	0513-00029-00000	59.346,00	01/04/2019	1040
90	CONSULTORIA	4.23.1.5	CONSULTOR INDIVIDUAL DE LINEA DRLA - SUPERVISOR DE CALCULO DE CAPACIDAD Y SCADA - CIUDAD EL ALTO - 1 CONSULTOR	RE.SABS	0513-00029-00000	115.209,00	01/04/2019	3950
91	OBRA	4.23.1.2	OBRAS CIVILES Y MECANICAS PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA - MUNICIPIO DE EL ALTO - DISTRITO 4	D.S.29506	0513-00029-00000	225.900,00	03/04/2019	1019
92	OBRA	4.23.1.2	OBRAS CIVILES Y MECANICAS PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA - MUNICIPIO DE EL ALTO - DISTRITO 5	D.S.29506	0513-00029-00000	257.526,00	03/04/2019	1020
93	OBRA	4.23.1.2	OBRAS CIVILES Y MECANICAS PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA - MUNICIPIO DE YACHA - DISTRITO 7 - SECTOR TILATA	D.S.29506	0513-00029-00000	768.060,00	03/04/2019	1023
94	OBRA	4.23.1.2	OBRAS CIVILES Y MECANICAS PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA - NUESTRA SEÑORA DE LA PAZ - ZONA VALLE DE LAS FLORES, ZONA CIUDAD DEL NIÑO	D.S.29506	0513-00028-00000	620.800,00	15/04/2019	981
95	OBRA	4.23.1.2	OBRAS CIVILES Y MECANICAS PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA - NUESTRA SEÑORA DE LA PAZ - ZONA VILLA ARMONIA	D.S.29506	0513-00028-00000	327.955,00	15/04/2019	982
96	OBRA	4.23.1.2	OBRAS CIVILES Y MECANICAS PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA - NUESTRA SEÑORA DE LA PAZ - ZONA SAN SIMON	D.S.29506	0513-00028-00000	107.000,00	15/04/2019	983
97	OBRA	4.23.1.2	OBRAS CIVILES Y MECANICAS PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA - NUESTRA SEÑORA DE LA PAZ - ZONA JARDIN DE OBRAJES	D.S.29506	0513-00028-00000	117.700,00	15/04/2019	984
98	SERVICIO	4.23.1.5	SERVICIO DE IMPRESION DE HOJAS MEMBRETADAS PARA EL DRLA	RE.SABS		74.000,00	18/04/2019	1115
99	OBRA	4.23.1.2	OBRAS CIVILES Y MECANICAS PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA - MUNICIPIO DE EL ALTO - DISTRITO 3	D.S.29506	0513-00029-00000	225.900,00	22/04/2019	1021
100	OBRA	4.23.1.2	OBRAS CIVILES Y MECANICAS PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA - MUNICIPIO DE EL ALTO - DISTRITO 2	D.S.29506	0513-00029-00000	180.720,00	22/04/2019	1022
101	OBRA	4.23.1.2	OBRAS CIVILES Y MECANICAS PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA - MUNICIPIO DE YACHA - DISTRITO 7 - SECTOR MCAL. SANTA CRUZ	D.S.29506	0513-00029-00000	768.060,00	22/04/2019	1024
102	OBRA	4.23.1.2	OBRAS CIVILES Y MECANICAS PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA - MUNICIPIO DE ACHOCALLA - DISTRITO 8	D.S.29506	0513-00029-00000	289.152,00	22/04/2019	1026
103	BIEN	4.23.1.5	ADQUISICION DE BATERIAS PARA EL DRLA	RE.SABS		77.260,00	23/04/2019	1120
104	OBRA	4.23.1.2	OBRAS CIVILES Y MECANICAS PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA - MUNICIPIO DE SICA SICA - LOCALIDAD DE LAHUACHACA	D.S.29506	0513-00029-00000	212.620,00	29/04/2019	1027
105	CONSULTORIA	4.23.1.5	CONSULTOR INDIVIDUAL DE LINEA DRLA - TECNICO OPERATIVO ATENCION DE EMERGENCIAS - CIUDAD LA PAZ - 4 CONSULTORES	RE.SABS	0513-00028-00000	292.640,00	01/05/2019	3943
106	CONSULTORIA	4.23.1.5	CONSULTOR INDIVIDUAL DE LINEA DRLA - TECNICO OPERATIVO ATENCION DE EMERGENCIAS - CIUDAD EL ALTO - 4	RE.SABS	0513-00029-00000	292.640,00	01/05/2019	3946
107	BIEN	4.23.1.5	ADQUISICION DE REPUESTOS Y ACCESORIOS PARA EL MANTENIMIENTO DEL SISTEMA SCADA, DRLA	RE.SABS		77.232,00	03/05/2019	1106
108	BIEN	4.23.1.5	ADQUISICION DE ESTACION V-SAT (ANTENA SATELITAL SCADA), DRLA	RE.SABS		33.250,00	03/05/2019	1108
109	OBRA	5.23.1.5	IMPLEMENTACION DE PUNTOS DE MEDICION - (OLOR PRESION)	D.S.29506	0513-00029-00000	50.000,00	06/05/2019	1031
110	BIEN	4.23.1.5	ADQUISICION DE REPUESTOS Y ACCESORIOS PARA EQUIPOS DEL DRLA	RE.SABS		44.000,00	10/05/2019	1121
111	OBRA	5.23.1.5	MANTENIMIENTO EN EDR, CIUDAD DE EL ALTO	D.S.29506		250.000,00	13/05/2019	1079
112	OBRA	5.23.1.5	MANTENIMIENTO DE CAMARAS Y VALVULAS EN RED SECUNDARIA, EN LA CIUDAD DE LA PAZ	D.S.29506		120.000,00	13/05/2019	1099
113	OBRA	4.23.1.2	OBRAS CIVILES Y MECANICAS PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA - NUESTRA SEÑORA DE LA PAZ - ZONA ANUTA, ZONA HANSA-ANUTA	D.S.29506		591.710,00	15/05/2019	995
114	OBRA	4.23.1.2	OBRAS CIVILES Y MECANICAS PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA - NUESTRA SEÑORA DE LA PAZ - ZONA AGUA DE LA VIDA	D.S.29506		74.900,00	15/05/2019	996
115	BIEN	4.23.1.5	ADQUISICION DE MATERIAL PROMOCIONAL PARA EL DRLA	RE.SABS		80.000,00	15/05/2019	1113
116	OBRA	4.23.1.2	OBRAS CIVILES Y MECANICAS PARA LA CONSTRUCCION DE RED SECUNDARIA - NUESTRA SEÑORA DE LA PAZ - MACRODISTRITO	D.S.29506		577.800,00	20/05/2019	987
117	OBRA	5.23.1.5	MANTENIMIENTO DE EQUIPO DE ODORIZACION POR INYECCION, CIUDAD DE EL ALTO	D.S.29506		220.000,00	20/05/2019	1080
118	SERVICIO	4.23.1.5	CALIBRACION DE EQUIPOS DE LA UNIDAD DE OPERACION Y MANTENIMIENTO, DRLA	RE.SABS		69.300,00	20/05/2019	1082
119	OBRA	5.23.1.5	MANTENIMIENTO DE EDR, CIUDAD DE LA PAZ	D.S.29506		125.000,00	20/05/2019	1086
120	OBRA	5.23.1.5	MANTENIMIENTO DE GABINETES, CIUDAD DE LA PAZ	D.S.29506		150.000,00	20/05/2019	1100

Anexo G Catálogo del equipo de medición DM5E.

The DM5E Family



The DM5E family is the latest generation of portable corrosion monitoring thickness gauges from GE Sensing & Inspection Technologies. It offers significant improvement in performance over previous corrosion thickness gauges in terms of better thickness measurement stability and repeatability at normal and elevated temperatures. It has been designed for operation in the harshest of working environments, performing wall thickness measurements on pipelines, pressure vessels and storage tanks in the oil and gas industry, as well as the petrochemical and power generation sectors.

Three levels

There are three versions in the DM5E Family, which offer three levels of functionality:

- DM5E Basic
- DM5E
- DM5E DL

The DM5E Basic

The rugged housing of the DM5E Basic is common to all versions. It is ergonomically designed with a weight of just 223g, including its AA batteries, which allow up to 60 hours of operation. The basic version is specified to EN 15317 and features an LCD data display, which is backlit to be visible in all lighting conditions. Instrument operation is carried out with one hand via a user-friendly interface. This is a sealed, watertight and dust-proof membrane keypad, which features a minimum of function keys and arrow keys. Navigation through menus is simple and intuitive. The basic

version incorporates a wide range of features including Min/Max capture, B-Scan generation, alarms and differential thickness measurement to allow instant comparison between measured and nominal thickness.

The DM5E

The DM5E incorporates all the features of the DM5E Basic but also offers the DUAL MULTI operating mode. This has been used in previous GE corrosion thickness gauges and has proved invaluable in measuring thickness of metal through coatings. There is no need to remove the coating at the measuring point, saving time and money. Users can up-grade from DM5E Basic to DM5E in the field.

The DM5E DL

The DM5E DL is identical to the DM5E but features a built-in datalogger supporting grid style data file formats. This is capable of holding up to 50,000 readings. Files can be transferred to a PC by means of a Mini USB Com port. Files can also be imported directly into Microsoft Excel through a macro. All alphanumeric data for filenames and notes is directly entered via the keypad. Both the basic and standard versions are field-upgradeable to become DL versions.

User-Friendly Operator Interface

All versions of the DM5E have the same user-friendly operator keypad interface. This has a central Mode key, a calibration/on/off key, two function arrow keys to activate and set functional control and four arrow keys for adjusting parameter values and for navigating through the intuitive single level menu. The keypad allows access to all calibration, set-up and measurement display modes of the instrument. With the DL version, a file display mode allows users to create and store thickness readings in files. All calibration is menu-driven and the operator is guided through every step. There is a built-in calibration reminder, which can be set to remind the user to calibrate after a specified number of measurements or after a given time period.





New Range of High Performance Probes

A new set of ultrasonic probes has been developed for the DM5E family to provide the instruments with optimized performance, even at very high temperatures. The DA5xx series complies with EN 15317 and includes a 5 MHz standard probe for general purpose applications, a 2MHz version, for high penetration as well as a 7.5MHz fingertip probe. A newly developed 5MHz high temperature probe offers an operating range from -10°C up to +204°C. (Standard probes operate to 70°C)

Thickness Measurement Under Coating

Both the DM5E and the DM5E DL offer Dual Multi Measurement. Virtually all components and structures subjected to thickness measurement will have some kind of protective coating. Such coatings, including paint, contribute significant error to thickness measurements of underlying metal walls when using conventional methods. In addition, the removal of coatings, and their subsequent reapplication, involves considerable cost and time. With the field proven Dual Multi feature there is no need to remove any protective coating. It is only necessary to select Dual Multi mode, place the probe in position and take the measurement.

Flexible Data Processing

The DM5E DL has a built-in datalogger, with a capacity to store up a massive 50,000 readings in grid and linear files. This makes the measurement data available for further processing. Using our UltraMATE software, measurement data files can be transferred from the instrument to a PC, where they can be stored and, if required, printed out in different fixed format reports. Typically, these can be colour histograms, where ranges of measured values are colour-coded, or colour can be used to highlight the distribution of minimum/maximum limit values exceeded. Data can also be pasted into Windows Clipboard for easy transfer into spreadsheet and word processing applications.

A Range of Measurement Displays

All versions of the DM5E offer a range of measurement displays.

These include:

- **Normal:** the thickness value appears as large digits in the centre of the display.
- **MIN Scan:** a minimum thickness scan that allows the user to run the probe over the wall surface. After the evaluation period, the minimum material thickness measured is displayed.
- **MAX Scan:** a maximum thickness scan is exactly the same as a MIN Scan apart from the fact that the maximum thickness measured is displayed.
- **DIFF/RR%:** compares the measured thickness with a user-specified nominal thickness. The dimensional difference between the two values is displayed, as is the percentage difference.
- **B-Scan:** displays a graphic representation of a B-Scan showing minimum thickness values. The graph is derived by measuring and recording at 1 point per second.

Technical Specifications - DM5E Family

Instrument Specifications		
Operating Principle	Ultrasonic Pulse Echo Measurement Method	
Measuring Range	Depends on Probe and Material, 0.60 mm to 508 mm (0.025" to 20.00") in P to 1st BW Measurement Mode, 2.00 mm to 127.0 mm (0.079" to 5.001" in Dual-Multi Measurement Mode, the Coating Thickness Range Shall be 0.3 mm to 2.50 mm (0" to 0.098")	
Measuring Resolution	0.01 mm Default - Selectable 0.01, 0.1 mm (0.001" Default - Selectable 0.001, 0.01")	
Material Velocity Range	0.508 to 18.689 mm/msec (0.0200 to 0.73627/msec)	
Material Velocity Resolution	1 m/s (0.0001"/msec)	
Units	Inch or Millimeter	
Calibration	One-Point Cal, On-Block and Off-Block, Two-Point Cal	
Pulser	Excitation Pulse	Spike Pulser
	Voltage	120 V into 50 ohm Load, Using 20 MHz Oscilloscope
Receiver	Bandwidth	500KHz to 12 MHz @ -3 dB
	Gain	Automatic Gain Control
Display Type	High-Resolution Graphical LCD, 64 x 128 Pixels, 53.0 mm x 27.0 mm with Backlight and Adjustable Contrast	
Update Rate	4 Hz or 8 Hz, User Selectable, 24 Hz Scan Mode Capture Rate	
Thickness Value Display	NORMAL View Mode	5 Digit, 10.6 mm (0.417) High
	B-SCAN View Mode	5 Digit, 2.55 mm (0.101) High
Display of Last Reading	Solid Filled or Hollow Digits Indicate Coupled or Uncoupled Condition	
Setups	9 Standard Setups for Probes	
Alarm Settings	Minimum and Maximum Alarms, Range of 0.25 mm to 508 mm, (0.010" to 20.00") Reading Alternates Between Solid and Hollow When Alarms Are Enabled and Violated	
Power Requirements	2 "AA" Size Batteries	
Battery Life/Operating Time	Approximately 60 Hours	
Instrument Shut-Off	Selectable ALWAYS ON or AUTO OFF After 5, 10, 15, 30 Minutes of Inactivity	
Language	Selectable English, German, French, Spanish, Italian, Russian, Japanese and Chinese	
I/O Connectors	Transducer	Dual Lemo 00 (coax)
	Mini-USB	Mini-USB to PC
Temperature	Operating	-10°C to +50°C (+10°F to +120°F)
	Storage	-20°C to +60°C (-10°F to +140°F)
Weight	223 g (0.597 lb) Including Batteries	
Size	138 mm x 32 mm x 75 mm	
Shock	IEC 68-2-27 Ed. as per MIL-STD-883C, Method 516.2 Procedure I with a 15g 11ms Impulse Half Sinusoidal Wave Applied 6 Times per Axis	
Sealing	IEC 629 / IP54, Dust Proof/Dripping Water Proof as per IEC 529 Specifications for IP54 Classification	

Data Recorder Option Features

Capacity	50,000 Readings
File Structures	Grid File
Number of Rows	1 to 50,000
Number of Columns	1 to 223
File Naming	Up to 24 Character Alphanumeric Name
Optional Software	UltraMATE and UltraMATE Lite

DM5E Probe/Transducer Specifications

	Model DA501	Model DA503	Model DA512	Model DA590
Frequency	5 MHz	2 MHz	7.5 MHz	5 MHz
Probe Style	Standard	Standard	Fingertip	High-Temperature
Operating Temperature Range (continuous)	-10 to 70°C	-10 to 70°C	-20 to 70°C	-20 to 204°C
Contact Diameter	12 mm (0.470")	16.1 mm (0.630")	7.5 mm (0.300")	12.7 mm (0.500")
IP to First Measurement Range	1.0 to 200 mm (0.040 to 8")	5.0 to 300 mm (0.200 to 12")	0.6 to 60 mm (0.024 to 2.4")	1.0 to 125 mm @20°C (0.040 to 5" @68°F)
Minimum Multi-Echo Measurement Range	3.0 to 25 mm (0.120 to 1.000")	N/A	2.0 to 10 mm (0.080 to 0.400")	N/A

Note: Instrument specifications are subject to change without prior notice.



www.gesensinginspection.com

GEIT-20210

© 2021 General Electric Company. All Rights Reserved. Specifications are subject to change without notice. GE is a registered trademark of General Electric Company. Other company or product names mentioned in this document may be trademarks or registered trademarks of their respective companies, which are not affiliated with GE.