

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARIA
SEDE CONCEPCIÓN – REY BALDUINO DE BÉLGICA

**EVALUACIÓN DE FALLAS DE LA RED CONTRA INCENDIOS EN PUERTO MARÍTIMO
LIRQUÉN PRODUCTO DE CORROSIÓN Y SOBRECARGA.**

Trabajo de Titulación para optar al
Título de
Ingeniero en MANTENIMIENTO
INDUSTRIAL

Alumno: Pedro Aguayo García.

Profesor Guía: Marcelo Quiroz Neira

DEDICATORIA

Agradecimientos: Agradezco a todas aquellas personas que me dieron su apoyo de una u otra forma en el transcurso de estos años de formación, en especial a mis padres y hermanos, por su apoyo incondicional y sabios consejos.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de memoria de título comprende el estudio de la red de agua contra incendios del recinto portuario “PUERTO LIRQUÉN”.

Primeramente, daré a conocer la historia del recinto portuario desde sus inicios a lo que es hoy en día, como está organizado y que materiales son almacenados, luego me enfocaré en lo que es el mantenimiento, hablaré de la historia de este, de los tipos de mantenimientos y sus indicadores, además de variables físicas presentes para así lograr una mejor comprensión al momento de abordar el problema central. Luego daré a conocer la problemática por el cual realizaremos este trabajo de memoria de título, se presentan los objetivos general y específicos, entraremos a lo que es la distribución del activo a través del puerto para así lograr una mejor comprensión de su distribución y características, donde y cuáles son las fallas más comunes en el activo, luego me guiaré por un extracto del historial de fallas del equipo, donde se detallan cada una de las averías y lo que se ha realizado al activo a través del tiempo, luego de visualizar el historial de fallas presentare un análisis grafico acerca de la incidencia de fallas según la ubicación y el tipo de falla presente junto con una categorización en la que se priorizarán las zonas más afectadas según el origen de la falla, posteriormente presentare propuestas de mejora las cuales contrastaré con una proyección de costos en el caso de continuar con la estrategia de mantenimiento de tipo correctivo, para así determinar la factibilidad de las propuestas de solución o mejora, las cuales tienen por objetivo optimizar la disponibilidad operativa del sistema contra incendios, asegurando el correcto y seguro funcionamiento de las operaciones logísticas del recinto portuario y así también la integridad de las personas el medio ambiente y los activos de la empresa en caso de incendios.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
OBJETIVO GENERAL:.....	2
OBJETIVO ESPECÍFICOS:	2
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA	3
MISIÓN 4	
VISIÓN 4	
UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	5
ACTIVOS	6
GESTIÓN DE ACTIVOS.....	6
CICLO DE VIDA.....	6
CONFIABILIDAD	7
INDICADORES DE CONFIABILIDAD	7
TIEMPO MEDIO ENTRE FALLA (MEAN TIME BETWEEN FAILURES).....	7
TIEMPO MEDIO PARA REPARAR (MEAN TIME TO REPAIR)	8
DISPONIBILIDAD	9
GENERACIONES DEL MANTENIMIENTO	9
PRIMERA GENERACIÓN	10
SEGUNDA GENERACIÓN	10
TERCERA GENERACIÓN	10
CUARTA GENERACIÓN	11
QUINTA GENERACIÓN	11
MANTENIMIENTO	11
FINALIDAD	11
OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO	12
TIPOS DE MANTENIMIENTO.....	12
MANTENIMIENTO CORRECTIVO	12
MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	13
MANTENIMIENTO PREVENTIVO	13
MEJORA CONTINUA	13
PLANEAR	13
HACER 13	
VERIFICAR.....	14
ACTUAR	14
LA CADENA DE SUMINISTRO	14
DEFINICIÓN DE LA CORROSIÓN EN METAL	15
CICLO ENERGÉTICO DEL ACERO	15
TENDENCIAS Y MEJORAS	16
SERIE GALVÁNICA DEL ACERO	16
CELDA DE CORROSIÓN	16
ASPECTOS GENERALES DE LA CORROSIÓN	17
CAUSAS DE LA CORROSIÓN	17
VARIABLES DE LA CORROSIÓN	17
TEMPERATURA	18
PRESIÓN	18
VELOCIDAD.....	18
ESFUERZOS DE TENSIÓN	18
CLASIFICACIÓN DE LA CORROSIÓN	19

CORROSIÓN POR PICADURA O PITTING	19
FORMAS DERIVADAS DE LA CORROSIÓN PITTING	19
CORROSIÓN POR FRICCIÓN.....	19
CORROSIÓN POR CAVITACIÓN.....	19
CORROSIÓN SELECTIVA.....	20
CORROSIÓN UNIFORME.....	20
MÉTODOS PARA CONTROLAR LA CORROSIÓN	21
MÉTODO DE MEDICIÓN DE LA CORROSIÓN	21
ANÁLISIS FÍSICO/QUÍMICO DE LA CORRIENTE DE PROCESO.....	21
SISTEMAS DE PROTECCIÓN PARA EVITAR LA CORROSIÓN	21
PROTECCIÓN MECÁNICA EXTERIOR:	22
PROTECCIÓN CATÓDICA.....	22
COMPONENTES DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA.....	22
PROTECCIÓN INTERNA A BASE DE INYECCIÓN DE INHIBIDORES DE CORROSIÓN	23
TIPOS DE INHIBIDORES DE CORROSIÓN.....	23
VENTAJAS.....	23
LIMITACIONES.....	23
EJEMPLOS DE INHIBIDORES DE CORROSIÓN:	23
CARGAS SOBRE LA SUPERFICIE.....	24
COPORTAMIENTO DE TUBERÍAS	24
ESFUERZOS EN TUBERÍAS BAJO TIERRA	24
PRESIÓN DEL SUELO:	24
CARGAS DINÁMICAS POR TRÁFICO:	24
EXPANSIÓN O CONTRACCIÓN DEL SUELO:	25
IMPACTO VIBRACIÓN DEL SUELO Y PILOTAJE:.....	25
SISMO: 25	
EFECTO DE FUERZAS DE COMPACTACIÓN:.....	25
TIPOS DE PROTECCIÓN DE TUBERÍAS ENTERRADAS	25
MAYOR PROFUNDIZACIÓN DEL SISTEMA DE TUBERÍAS:	25
GEOCELDAS:	25
TDA: 26	
ANILLOS DE CONCRETO:	26
GEOTEXILES:	27
ASBESTOS	27
EXPOSICIÓN AL ASBESTO	28
MARCO LEGAL.....	28
NORMAS Y TÉCNICAS PARA LA INSPECCIÓN DE TUBERÍAS DE PROCESO	28
NORMA ASME	28
ASME B31.3	28
ASME B 31 G.....	29
NORMA API	29
API 510: INSPECCIÓN, MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN	29
API 570: INSPECCIÓN, MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE SISTEMAS DE TUBERIAS	29
API 579: EVALUACIÓN Y REPARACIÓN DE DAÑOS EN EQUIPOS POR CORROSIÓN	30
TECNICAS DE INSPECCIÓN PARA TUBERIAS DE PROCESO ENTERRADAS	30
INSPECCIÓN POR FUGAS DE FLUJO MAGNÉTICO.....	30
EQUIPOS UTILIZADOS.....	30
VENTAJAS30	
LIMITACIONES	31
INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO	31
EQUIPO UTILIZADO.....	31
VENTAJAS31	
LIMITACIONES	31
INSPECCIÓN POR ONDA ULTRASONIDO – GUIADO (GWU)	32
ONDA DE TORSIÓN (TORSIONAL WAVE):	32
ONDA DE FLEXIÓN (FLEXURAL WAVE):.....	32
EQUIPO UTILIZADO.....	32
VENTAJAS32	
LIMITACIONES	32
PROGRAMA Y PLANIFICACIÓN DE INSPECCIÓN	33
CONTROL DE LA CORROSIÓN	33

CONTROL DE LA CORROSIÓN EXTERNA PARA TUBERIAS METALICAS ENTERRADAS	34
EXAMEN A DUCTOS ENTERRADOS CUANDO ESTÁN AL DESCUBIERTO.....	34
TÉCNICAS DE INSPECCIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE CORROSIÓN EXTERNA	34
PIPELINE CURRENT MAPER (PCM)	35
<i>VENTAJAS</i>	35
DIRECT CURRENT VOLTAGE GRADIENT (DCVG)	35
<i>EQUIPO UTILIZADO</i>	35
<i>VENTAJAS</i>	35
CLOUSE INTERVAL POTENCIES SURVEYS (CIPS)	36
<i>EQUIPO UTILIZADO</i>	36
<i>PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN</i>	36
<i>VENTAJAS</i>	36
PERSON SURVEY	36
TECNOLOGÍA DE LOS PGS	37
<i>TIPOS DE PIGs</i>	37
<i>VENTAJAS</i>	37
MEDICIÓN DE LA RESISITIVIDAD DEL SUELO.....	37
MÉTODOS CORRECTIVOS PARA EL CONTROL DE LA CORROSIÓN	38
REPARACIONES	38
CORROSIÓN GENERALIZADA	38
PICADURA POR CORROSIÓN LOCALIZADA	38
DIMENSIÓN MÁXIMA DE LA PICADURA DE CORROSIÓN	39
FORMULACIÓN PARA PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO / PREDICTIVO	40
1. INTRODUCCIÓN	40
1.1 PROPOSITO.....	40
1.2 ALCANCE	40
1.3 RESPONSABILIDADES	40
1.4 FECHA DE REVISIÓN.....	40
2. PROGRAMA DE INSPECCIÓN	40
2.1 FRECUENCIA	40
2.2 MÉTODO Y TECNICAS.....	40
2.2.1 <i>INSPECCIÓN VISUAL</i>	40
2.2.2 <i>ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS</i>	40
2.2.2.1 FUGAS DE FLUJO MAGNETICO (MFL).....	40
2.2.2.2 ULTRASONIDO	40
2.2.2.3 ONDA ULTRASONICO - GUIADO (GW)	40
2.2.2.4 PIPELINE CURRENT MAPPER (PCM)	40
2.2.2.5 DIRECT CURRENT VOLTAGE GRADIENT (DCVG)	40
2.2.2.6 CLOUSE INTERVAL POTENCIES SURVEYS (CIPS)	40
2.2.2.7 PERSON SURVEY	40
2.2.2.8 TECNOLOGÍA DE LOS PIGS	40
2.3 PUNTOS DE INSPECCIÓN CRITICOS	41
3. PRUEBAS Y ENSAYOS	41
3.1 <i>TIPOS DE PRUEBAS Y ENSAYOS</i>	41
3.1.1 PRUEBA HIDROSTÁTICA	41
3.1.2 PRUEBA NEUMÁTICA	41
3.2 <i>FRECUENCIA</i>	41
3.3 <i>EQUIPO NECESARIO</i>	41
4. REPARACIONES Y REEMPLAZOS.....	41
4.1 <i>PROCEDIMIENTO</i>	41
4.2 <i>REPARACIÓN DE UNIONES Y CONEXIONES</i>	41
4.3 <i>REEMPLAZO DE COMPONENTES Y TUBERÍAS DAÑADAS</i>	41
4.4 <i>APLICACIÓN DE REVESTIMIENTOS Y PINTURAS</i>	41
4.4.1 MATERIALES NECESARIOS.....	41
5. REGISTRO Y DOCUMENTACIÓN	41
5.1 <i>FORMATOS</i>	41
5.1.1 <i>REGISTRO DE INSPECCIÓN Y REPARACIÓN</i>	41
5.2 <i>ACTUALIZACIÓN</i>	41
5.2.1 <i>ACTUALIZACIÓN ANUAL DE DOCUMENTACIÓN TECNICA</i>	41
6. CAPACITACIÓN Y CALIFICACIÓN	41
6.1 REQUISITOS	41
6.1.1 <i>CAPACITACIÓN EN TECNICAS DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO</i>	41
6.2 <i>PROCEDIMIENTO</i>	41
6.2.1 <i>CAPACITACIÓN ANUAL PARA PERSONAL DE MANTENIMIENTO</i>	41

6.3 ARCHIVOS DE REGISTRO	41
6.3.1 INSPECCIONES Y REPARACIONES	41
6.3.2 PRUEBAS Y ENSAYOS.....	41
6.3.3 REPARACIONES Y REEMPLAZOS.....	41
6.3.4 CAPACITACIÓN Y CALIFICACIÓN.....	41
ESTUDIO E INTERPRETACIÓN DE LAS NORMAS ASME B31 G Y API 579	42
EVALUACIÓN DE DEFECTOS BAJO NORMA ASME B31 G	42
LIMITACIONES DEL CÓDIGO	42
METODO DE ACEPTACIÓN	42
CRITERIOS DE EVALUACIÓN.....	42
<i>PORCENTAJE DE PROFUNDIDAD DE UN DEFECTO.....</i>	<i>42</i>
<i>LONGITUD MÁXIMA ADMISIBLE DE UN DEFECTO.....</i>	<i>43</i>
<i>MÁXIMA PRESIÓN DE OPERACIÓN ADMISIBLE (MAWP)</i>	<i>43</i>
<i>TASA DE CORROSIÓN</i>	<i>43</i>
<i>VIDA REMANENTE.....</i>	<i>44</i>
CAPITULO II: DESCRIPCIÓN DE LA RED DE INCENDIO.....	45
RED CONTRA INCENDIOS DEL TERMINAL PORTUARIO	46
COMPONENTES DE LA RED DE INCENDIO	47
CONJUNTO BOMBA MOTOR.....	47
ESPECIFICACIONES DE MOTOR Y BOMBAS.....	47
DESCRIPCIÓN DE TUBERIAS.....	52
SITUACIÓN ACTUAL.....	54
HISTORIAL DE FALLAS DE LA RED DE INCENDIOS	55
MANTENIMIENTO ACTUAL.....	56
CAPITULO III: ESTUDIO DE LA RED DE INCENDIO	57
PROBLEMA	58
FALLAS DEL SISTEMA CONTRA INCENDIOS	59
FALLAS POR SOBRECARGA.....	59
PATIO TRIANGULO.....	59
FALLAS POR CORROSIÓN	62
CORROSION PITTING	62
CORROSIÓN POR FRICCIÓN	63
CORROSIÓN UNIFORME	63
FORMULACIÓN Y RECOPIACIÓN DE DATOS PARA EVALUAR ESTADO DE TUBERIAS DEL TRAMO “MUELLE 1 – EMBARCADERO”	64
METODOLOGÍA	64
OBTENCIÓN DE DATOS.....	64
INVESTIGACIÓN DEL TIPO DE TUBERÍA	64
MARCO PRÁCTICO.....	65
CRITERIO 1.....	65
CRITERIO 2.....	66
CRITERIO 3.....	66
VIDA REMANENTE.....	66
DISPONIBILIDAD	67
CAPITULO IV: SOLUCIONES	69
PROPUESTAS	70
PROPUESTA DE MEJORA A TUBERIA ENTERRADAS.....	70
PROPUESTA DE MEJORA “MUELLE 1”.....	70
<i>P&ID DEL SISTEMA DE TUBERIAS DE LA PROPUESTA DE MEJORA.....</i>	<i>71</i>
<i>PIPING CLASS DE LA PROPUESTA DE MEJORA</i>	<i>72</i>
<i>COSTO DE LA PROPUESTA.....</i>	<i>73</i>
EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	74
CONCLUSIONES.....	75
REFERENCIAS	76
ANEXOS	77
.....	77

INTRODUCCIÓN

Actualmente las empresas cuentan con una variedad de activos para poder llevar a cabo su producción de forma segura, estos activos tienen una determinada vida útil, para lograr extender esta vida útil realizaremos un estudio de la integridad de los activos, logrando así, identificar y conocer el estado en que las instalaciones se encuentran para así obtener el mayor provecho de este activo aplicando estrategias de mantenimiento que disminuirán las fallas inesperadas.

En el siguiente trabajo detallaremos cada uno de estos mantenimientos y como aportan en la industria.

DP WORLD Lirquén, se encuentra ubicada en Lirquén en la VIII región de nuestro país, este es uno de los dos puertos ubicados en Chile, el cual se dedica a la operación logística y confiable de mercancías, dentro de las operaciones de este puerto se encuentran instalaciones que tienen como propósito asegurar la integridad de personas, activos y el medio ambiente como lo es la red de incendio la que se encuentra distribuida a través de todas las instalaciones del puerto, para asegurar la integridad de este se realizó un estudio del sistema contra incendio y un análisis de los datos recopilados, con dicha información realizare una propuesta de solución y/o mejora la cual tiene como objetivo asegurar el correcto funcionamiento del sistema de protección contra incendios del puerto de Lirquén, reducir costos de mantenimiento, pérdidas de presión en el sistema, reducción de consumo energético y brindar mayor vida útil a los componentes del activo además de asegurar el bienestar de trabajadores, activos y medio ambiente.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

- Realizar análisis de integridad a la red de incendios del recinto portuario puerto Lirquén y optimización de la disponibilidad.

OBJETIVO ESPECÍFICOS:

- Hacer levantamiento del sistema de cañerías de la red de incendios e identificar fugas y tipos de corrosión.
- Examinar la corrosión presente en la red de incendios del recinto portuario “Puerto Lirquén”.
- Analizar indicadores de desempeño (MTTR y MTBF).
- Proponer un plan de mantenimiento preventivo/predictivo de acuerdo con lineamientos de normas internacionales y estrategia de mantenimiento de DP WORLD LIRQUÉN.
- Realizar evaluación económica para determinar propuestas planteadas.

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA

DP World LIRQUÉN es el principal puerto privado de servicio público del país, y está ubicado en la Bahía de Concepción, desde sus inicios en el año 1955 con la primera construcción del muelle de en ese entonces la compañía carbonífera Lirquén se da pie para lo que hoy en día es DP WORLD Lirquén

Cuenta hoy en día con una capacidad instalada cercana a 7.000.000 de ton-m³, gracias a sus 6 sitios de atraque y la mayor área de patios y bodegas de la región, lo que, junto a su equipo humano, equipamiento y tecnología, lo convierten en un terminal multipropósito altamente eficiente.



Figura: Logo DP WORLD

Fuente: Página oficial DP
WORLD

MISIÓN

“Prestar servicios logísticos integrados con soluciones eficientes a la medida de nuestros clientes, cuidando las cargas que nos confían; con colaboradores motivados y competentes; vinculados con el entorno; y rentables para nuestros accionistas”.

VISIÓN

“Ser un operador logístico confiable y de excelencia, comprometido con sus clientes y colaboradores, integrado con la comunidad y responsable con el medio ambiente”.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA

DP WORLD LIRQUÉN está ubicado en la Bahía de Concepción.

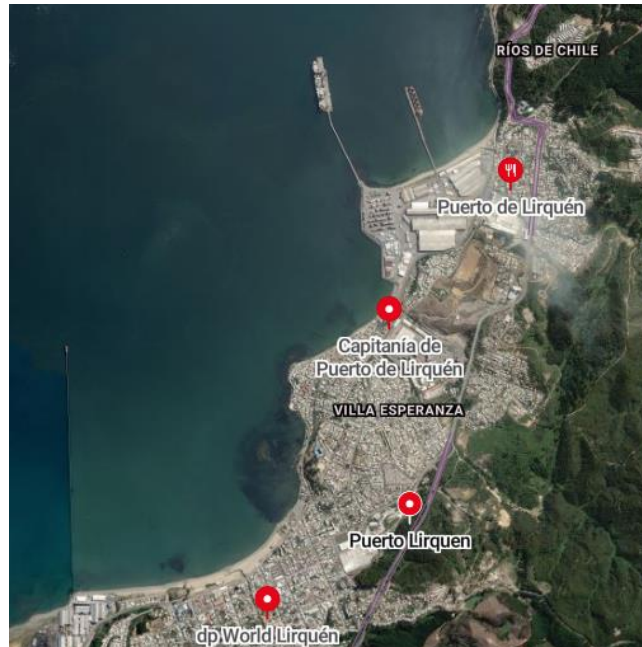


Figura: Ubicación del Terminal Portuario.

Fuente: Google Maps.

ACTIVOS

Los activos, desde el punto de vista contable, representan los bienes, derechos y otros recursos controlados económicamente por la empresa, resultantes de sucesos pasados, de los que se espera que la empresa obtenga beneficios o rendimientos económicos en el futuro. Por ejemplo, los activos pueden variar ya sean una selladora para envasar un producto en una tienda de comida o una caldera de una empresa industrial global, en los dos casos son activos.

GESTIÓN DE ACTIVOS

La gestión de activos es como nosotros gestionamos el ciclo de vida del activo de una organización, con el fin de lograr el mejor provecho del activo. Cubre procesos como diseño, construcción, explotación, reemplazo de activos e infraestructuras

CICLO DE VIDA

El ciclo de vida de un activo, son todas las etapas que pasa el activo, tales como el anteproyecto, proyecto, diseño, manufactura, instalación, puesta en marcha, operación, mantenimiento hasta su eventual reciclaje o descarte. Una de las tablas más efectivas para ver el ciclo de vida de un activo es la curva de la bañera, que nos indica cuando más fallas muestra el activo es en un inicio de vida y en su envejecimiento y en su juventud se puede ver que el activo no presenta una cantidad excesiva de falla.

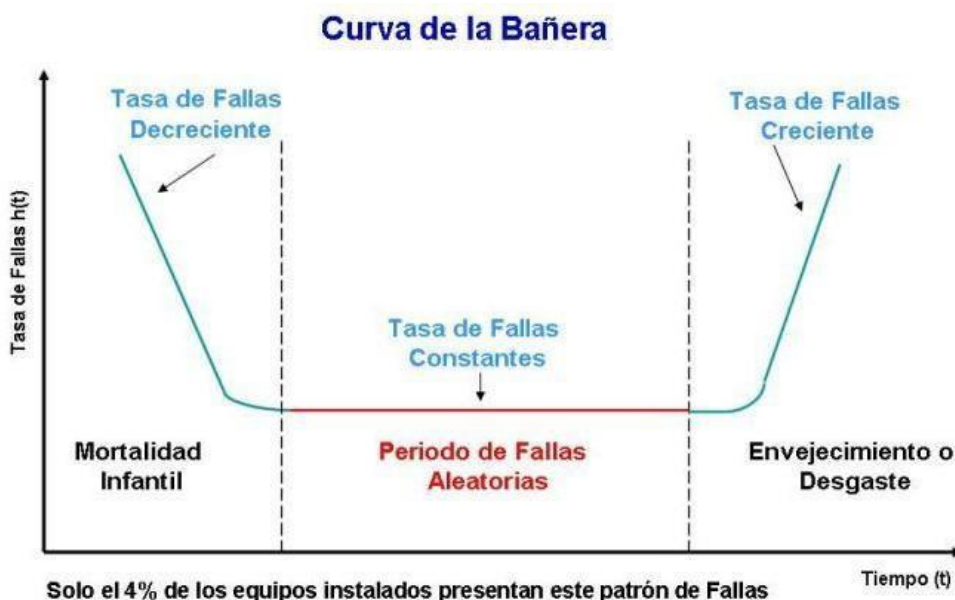


Figura: Curva de la bañera

Fuente: Google

CONFIABILIDAD

Es la probabilidad de que un activo realice su función especificada en el proyecto, de acuerdo con las condiciones de operación, en un intervalo específico de tiempo. Esta se puede calcular mediante la siguiente formula:

$$\text{CONFIABILIDAD} = R(t) = e^{-\lambda \cdot t}$$

λ = tasa de fracaso $\lambda(t) = \frac{1}{\text{MTBF}}$	t = tiempo Debe seguir la unidad MTBF (horas, dias...)	e = El Número de Euler 2,71
---	---	---

Figura: Formula de Confiabilidad
Fuente: Tractian

Para lograr un mejor cálculo de la confiabilidad, tomaremos en cuenta diversos indicadores, los cuales nos ayudarán a poder inferir una conclusión más precisa al momento de calcular la confiabilidad.

INDICADORES DE CONFIABILIDAD

TIEMPO MEDIO ENTRE FALLA (MEAN TIME BETWEEN FAILURES)

El MTBF o tiempo medio entre fallos, pertenece a los indicadores más relevantes para el mantenimiento. Se apoya en medir el tiempo total de buen desempeño medio entre cada fallo de un equipo reparable, convirtiéndose en un instrumento óptimo para medir la confiabilidad de la máquina.

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Suma de horas de trabajo en buen estado}}{\text{Número de averías para el mantenimiento correctivo}}$$

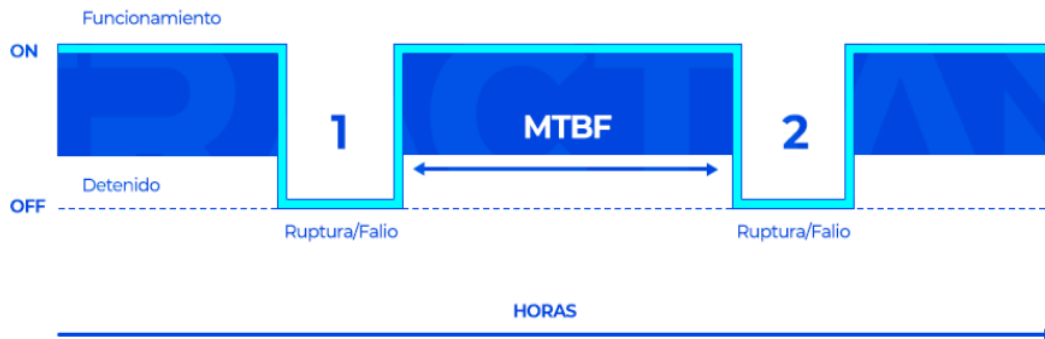


Figura: Diagrama MTBF

Fuente: Tractian.com

TIEMPO MEDIO PARA REPARAR (MEAN TIME TO REPAIR)

MTTR o tiempo medio para reparar, es un indicador clave de mantenimiento, para la evaluación y toma de decisiones, con él se podrá medir la eficiencia del mantenimiento y comportamiento del equipo.

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Suma de los tiempos de reparación}}{\text{Número de intervenciones realizadas}}$$

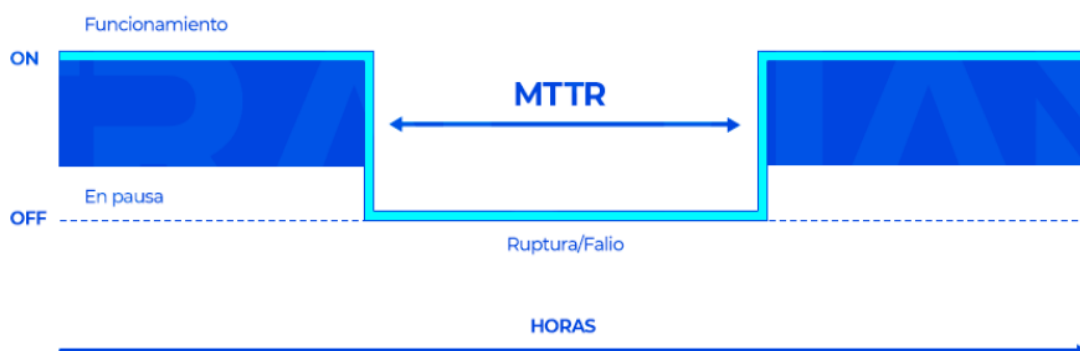


Figura: Diagrama MTTR

Fuente: Tractian.com

DISPONIBILIDAD

Es la capacidad de un elemento de estar en condiciones de ejecutar una cierta función en un instante dado, o durante un intervalo de tiempo determinado.



Figura: Formula de Disponibilidad

Fuente: Fractal.com

Uno de los métodos para poder aumentar la confiabilidad del activo está en generar un plan de mantenimiento en el activo hay diversos tipos de mantenimiento y hay que buscar el mantenimiento ideal para cada uno de los activos, y que también sean ideales para la empresa a la cual se le incorporara este mantenimiento.

GENERACIONES DEL MANTENIMIENTO

El mantenimiento es una práctica que permite a las empresas de diferentes rubros, optimizar el tiempo en su proceso productivo, ya que, con un mantenimiento adecuado, la empresa puede reducir las fallas que causan pérdidas innecesarias de recursos. Como resultado, la evolución del mantenimiento a lo largo de la historia y el uso de nuevas tecnologías a dado paso para que actualmente existan cinco generaciones del mantenimiento, las que se enumeran a continuación:

PRIMERA GENERACIÓN

En esta primera etapa, el mantenimiento se limitaba a reparar lo que se averiaba y a engrasar, reapretar, limpiar y lubricar los componentes de las máquinas utilizadas. El responsable de la reparación era el propio operario de la máquina. Como veremos más adelante, este tipo de mantenimiento es principalmente correctivo. Esta época se remonta a las décadas de 1930 a 1950 en la que se utilizaban máquinas robustas, lentas y relativamente sencillas. Con el paso del tiempo las mejoras de las máquinas generaron la necesidad de contar con un equipo de trabajo dedicado exclusivamente al mantenimiento de la maquinaria lo que trajo consigo la implementación de talleres de mantención.

SEGUNDA GENERACIÓN

Se habla de la segunda generación de mantenimiento en las instalaciones a partir de la Segunda Guerra Mundial. Esta evolución surge por la exigencia de una mayor continuidad en la producción y por una mayor complejidad en máquinas y equipos. Aparece entonces la idea de que las fallas se podían y debían prevenir, a partir de esta idea es que nace el concepto de mantenimiento programado el cual en la década de los 60 consistía en realizar mantenciones en periodos fijos de tiempo lo que resultó en un incremento de los costos de mantención en relación a los costos de funcionamiento, como resultado se comenzó a implementar sistemas de control y planificación del mantenimiento, a partir de los años 70 se generaliza el uso de herramientas informáticas para este fin (GMAO). (Garcia, 2013).

TERCERA GENERACIÓN

La tercera generación de mantenimiento se menciona desde los años ochenta. Sus objetivos se enfocan en ocho aspectos: disponibilidad de equipos y sistemas, confiabilidad de estos, optimización de costos, mejora de la seguridad, mejora de la calidad (aparecen las certificaciones ISO 9001 e ISO 9002), mayor preocupación por el medio ambiente (incluida la ISO 14001), prolongación de la vida útil de los equipos y seguimiento de las normas vigentes. Las actividades de mantenimiento preventivo ya no son comunes, sino adaptadas a las normas o a su utilidad: se considera su rentabilidad. Los mantenimientos según condición, los mantenimientos predictivos y otras técnicas, como el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) y el mantenimiento productivo total (TPM).

CUARTA GENERACIÓN

Integrados todos los conceptos anteriores, la gestión del mantenimiento se orienta hacia la satisfacción del cliente. Se extiende la externalización del servicio de mantenimiento y se fijan ratios medibles para poder calificar el servicio de mantenimiento, con bonificaciones y penalizaciones. Los responsables de mantenimiento deben tener un conocimiento exhaustivo de las normativas para no incurrir en errores legales.

QUINTA GENERACIÓN

A finales del siglo XX y principios del XXI, la importancia de los recursos energéticos por su coste y por su carácter de agotables hace que la eficiencia energética tenga un papel capital en el mantenimiento y explotación de las instalaciones, incluyendo en muchos casos la cesión de los contratos energéticos a las empresas mantenedoras, que en ese caso se encargan de comprar la energía primaria y vender la energía útil transformada garantizando unas ratios establecidas en contrato. Hacia esta dirección tiende la que he llamado quinta generación de mantenimiento. De este modo la propiedad puede dedicarse exclusivamente a su actividad principal mientras la empresa mantenedora se dedica a la explotación técnica del edificio. (Garcia, 2013)

MANTENIMIENTO

El mantenimiento se describe como toda actividad necesaria para conservar un equipo e instalaciones en las mejores condiciones de funcionamiento, para lo que fue creado originalmente, además, mejora su desempeño buscando la máxima disponibilidad y confiabilidad de estos, una parte fundamental del mantenimiento es poder capacitar a trabajadores y operadores de los activos para que así el mantenimiento sea el ideal y este hecho de la manera correcta.

Hay que recalcar que el mantenimiento debe ser planificado desde la proyección del activo, ya que antes de instalarlo, debemos tener un mantenimiento planificado para este, y esto va de la mano con su correcta instalación y método correcto de operación.

FINALIDAD

La finalidad del mantenimiento es tener en condiciones óptima los equipos, componentes e

instalaciones, como también reparar a tiempo y de la mejor forma las averías, para poder brindar la máxima capacidad de producción a la organización, aplicando técnicas que brindan un control eficiente y eficaz del equipo e instalación.

OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO

El objetivo para el cual se genera un mantenimiento es mantener su disponibilidad, manteniendo los componentes y la máquina en óptimas condiciones, para cuando se requiera su utilización. De igual forma que la confiabilidad, la cual busca que los equipos e instalaciones duren el mayor tiempo de funcionamiento de forma segura y adecuada. Luego, está la máxima productividad, con la aplicación de correcto mantenimiento se asegurará una buena confiabilidad y disponibilidad, llevando consigo un aumento de productividad y de la mano una mayor rentabilidad. Disminuyendo los costos de operación del activo.

Dentro de la industria como ingenieros confiamos en que podemos caminar por medio de la industria sin tener la preocupación de que algún activo falle y ponga en riesgo nuestra integridad física, la confiabilidad toma en cuenta este punto.

TIPOS DE MANTENIMIENTO

En las industrias existen distintos tipos de mantenimiento, los cuales cada uno de ellos posee sus propias características diferentes uno del otro en funciones como; objetivos, resultados, costos y estrategias. Actualmente se identifican tres tipos de mantenimiento:

MANTENIMIENTO CORRECTIVO

El mantenimiento correctivo, también llamado mantenimiento reactivo, consiste en la acción puntual que se realiza sobre una máquina o equipo que ha dejado de funcionar. Este puede variar en su gravedad, de leve a grave. Usualmente suelen ser averías de no fácil arreglo.

Este mantenimiento se puede dividir en dos, uno de ellos es el mantenimiento correctivo programado donde se sabe con antelación qué es lo que se debe realizar de modo que, cuando se pare el equipo para efectuar la reparación, se disponga del personal, repuesto y documentos técnicos necesarios para que se lleve a cabo correctamente.

MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El mantenimiento predictivo se basa fundamentalmente en detectar una falla antes de que suceda, para dar tiempo a corregirla sin perjuicio al servicio, ni detención de la producción.

Se realiza mediante las inspecciones visuales, medición, seguimiento y monitoreo de manera sorpresiva ya sea por una avería imprevista a reparar lo más pronto posible o por una condición que hay que reparar.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo se debe efectuar con la finalidad de encontrar y corregir los problemas menores antes que estos provoquen fallas, logrando mantener el equipo óptimo en su funcionamiento. Esto se debe a la programación de las actividades que son realizadas cada cierto tiempo determinado y por último se basa en la confiabilidad de los equipos.

MEJORA CONTINUA

Es un enfoque para la mejora de procesos operativos que se fundamenta en la necesidad de verificar siempre las operaciones de los problemas, la reducción de costos posibles, la racionalización, y otros componentes que en general permiten la mejora.

Comúnmente vinculada con metodologías de proceso, la actividad de optimización continua otorga una perspectiva, medición y retroalimentación sobre el rendimiento, para fomentar la mejora en la ejecución de los procesos.

Unas de las principales herramientas para la mejora continua en las industrias, es el ciclo PHVA o también llamado ciclo Deming, en el cual consta de las siguientes etapas:

PLANEAR

Primero, es necesario planificar las actividades que se deben realizar en función de los objetivos planteados los cuales, debemos cumplir realizando una recopilación de toda la información necesaria para analizar las causas que han originado esa situación desfavorable, para poder elaborar un plan de acción, con las acciones preventivas y correctivas que se consideren necesarias.

HACER

En la segunda parte se deben llevar a cabo todas las acciones planteadas en la planificación, pero bien organizado, llevándolo a un plan piloto antes de realizar cambios a grandes escalas.

VERIFICAR

En la tercera parte se verifica y evalúa las acciones anteriores. Esto quiere decir que, según el período de tiempo previsto, se debe analizar la información recopilada para tener un control sobre lo que se está haciendo, comparando los resultados con el plan inicial y si se está cumpliendo con los objetivos.

ACTUAR

Por último, una vez finalizado el proceso, se debe estudiar los resultados obtenidos y comparar con los datos anteriores de la mejora, chequeando así la información analizada, se toma una conclusión sobre sí la planificación está correctamente para documentar cada acción que se haya realizado.

Realizada ya la última fase del ciclo PHVA se pueden apreciar dos situaciones distintas, la cual la primera sería la positiva, donde se ha alcanzado el objetivo como tal, lo que implica que las acciones tomadas son eficaces y se puede seguir con ella. Por otro lado, la segunda de esta es la negativa, en donde no se ha alcanzado el objetivo requerido y se debería analizar todo el ciclo e identificar cual fue el error y empezar a crear un nuevo ciclo PHVA.

LA CADENA DE SUMINISTRO

La cadena de suministro, como su nombre lo dice en un conjunto de eslabones o mejor dicho procesos que permiten concretar los objetivos de una empresa, como lo es la satisfacción al cliente final, si en el camino alguno de los procesos falla, el producto no será entregado al cliente en condiciones ideales, es por esto, que cada uno de los procesos de la cadena de suministro es relevante. También es importante destacar que los diferentes procesos de la cadena de suministro están interconectados lo que hace que funcionen de manera interdependiente.

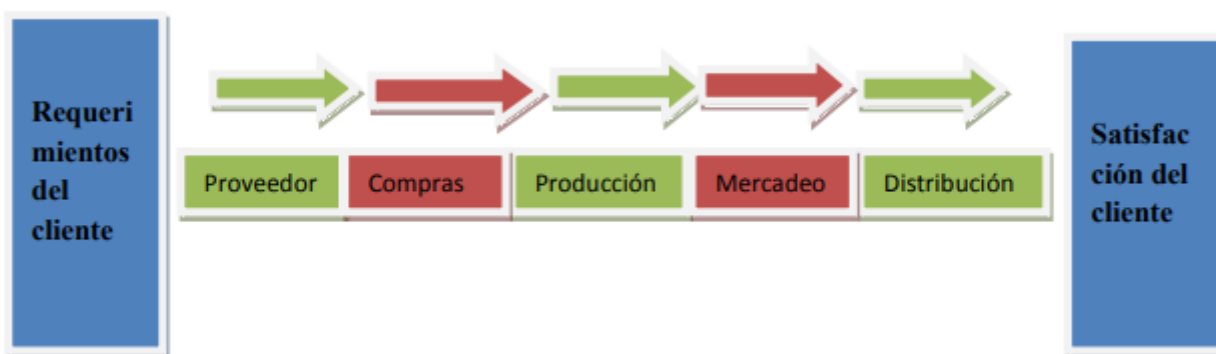


Figura: Cadena de suministro

Fuente: laccei.org

DEFINICIÓN DE LA CORROSIÓN EN METAL

La corrosión es un proceso natural, que se produce gradualmente a lo largo del tiempo, causando el deterioro de un metal como resultado de su interacción con diversos elementos presentes en su entorno.



Figura: Cañería con deterioro por corrosión

Fuente: Propia

CICLO ENERGÉTICO DEL ACERO

El ciclo energético del acero se refiere al procedimiento de fabricación de acero, desde la extracción de la materia prima hasta su conversión en productos finales, teniendo en cuenta los consumos energéticos en cada fase, los cuales se exponen a continuación.

Etapa 1: Extracción de mineral de hierro

Etapa 2: Producción de arrabio

Etapa 3: Producción de acero

Etapa 4: Laminación y procesamiento

Etapa 5: Reciclaje

TENDENCIAS Y MEJORAS

- Uso de energías renovables
- Tecnologías más eficientes (hornos eléctricos, hornos de oxígeno)
- Reciclaje de acero
- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero

Es importante destacar que el ciclo energético del acero puede variar según la región, tecnología y tipo de acero producido.



Figura: Ciclo energético del acero

Fuente: Venancio Wilson (2019)

SERIE GALVÁNICA DEL ACERO

Lista de metales ordenados de menor inercia, cuanto más alejados estén dos metales, más susceptible a la corrosión es el metal de menor inercia.

CELDA DE CORROSIÓN

La corrosión es lo que más afecta a las cañerías, esta a su vez requiere un circuito eléctrico.

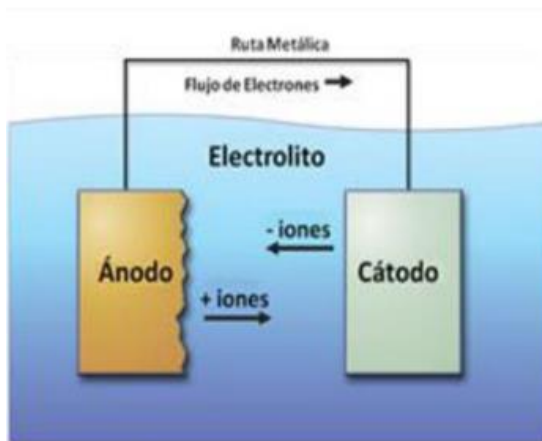


Figura: Celda de corrosión

Fuente: Quiñones Diana (2023)

ASPECTOS GENERALES DE LA CORROSIÓN

Un aspecto crucial para tener en cuenta en la instalación del sistema contra incendios, son las condiciones a las que estará expuesta la red de incendio. La red puede encontrarse en entornos agresivos como ambientes industriales o naturales, donde se expondrá al calor y la lluvia. Es importante considerar factores como la humedad, la salinidad del entorno, la emisión de gases y las cargas a las que estará sujeta, ya que estas pueden facilitar el proceso de corrosión. Esto puede provocar la degradación de la red resultando en fugas de agua, pérdidas de presión, posibles reducciones de presión en el sistema contra incendios.

CAUSAS DE LA CORROSIÓN

La interacción del metal con el oxígeno y la humedad produce un fenómeno electroquímico complejo que implica la transferencia de electrones de un elemento a otro, sumada la presencia de agua en el ambiente es que se favorece e impulsa la corrosión. Otras formas en que se produce la corrosión en materiales diferentes, es por la presencia de elementos corrosivos adicionales en condiciones de altas temperaturas, así como la salinidad del entorno, que es común en áreas cercanas al mar y en entornos industriales expuestos a altos niveles de dióxido de azufre.

VARIABLES DE LA CORROSIÓN

Es crucial entender las variables que inciden en la corrosión, las más relevantes son las siguientes:

TEMPERATURA

En términos generales, las reacciones químicas aumentan su rapidez cuando la temperatura se eleva. En sistemas cerrados, como un sistema productivo, se ha establecido una norma práctica que señala que cada 10 °C de incremento en la temperatura esta se eleva el doble. En sistemas abiertos, como tanques y/o recipientes, la corrosión suele incrementarse un momento y luego, si la temperatura continúa en aumento, la corrosión empieza a reducirse debido a los gases disueltos.

PRESIÓN

La presión también tiene un impacto en la intensidad de la corrosión. A mayor presión, la cantidad de gases como (CO₂, H₂s, O₂) disueltos aumenta y, consecuentemente, la velocidad de corrosión se incrementará.

VELOCIDAD

La velocidad tiene un papel crucial en los niveles de corrosión en un sistema, ya que, a velocidades más altas, la corrosión también es mayor. Uno de los efectos más habituales es que a medida que aumenta la velocidad del flujo, existe una tendencia a perder o eliminar la capa de inhibidor que se forma en la superficie metálica. Si el fluido arrastra sólidos en suspensión o burbujas de gas o aire, este efecto se ve potenciado debido a la fricción generada por las partículas sólidas contra la superficie metálica, lo que puede provocar corrosión por erosión. Asimismo, el impacto de las burbujas contra la superficie metálica puede ocasionar corrosión por cavitación. En ciertos escenarios, cuando la velocidad es reducida, la tasa de corrosión disminuye. Sin embargo, aumenta la propensión a un tipo de corrosión denominado como picadura. Este fenómeno se manifiesta en situaciones de flujo lento, especialmente en sistemas con elevada concentración biológica, donde se desarrollan películas de materia orgánica. Bajo estas películas se establecen colonias bacterianas que producen ácidos, provocando corrosión localizada.

ESFUERZOS DE TENSIÓN

La corrosión bajo tensión ocurre cuando un entorno corrosivo interactúa con tensiones intensas que afectan al metal. Aunque el ataque inicial puede parecer leve, su gravedad radica en la formación de fisuras que se propagan a lo largo de la sección del metal. Estas tensiones pueden ser causadas por la presencia de metales con diferentes coeficientes de dilatación térmica, diseños defectuosos o transformaciones en la estructura durante procesos de soldadura, entre otros factores.

CLASIFICACIÓN DE LA CORROSIÓN

Hay variadas formas de corrosión que pueden aparecer en diferentes sistemas industriales dependiendo de cómo estén expuestas las instalaciones. A continuación, se presentan algunos ejemplos de formas de corrosión.

CORROSIÓN POR PICADURA O PITTING

La corrosión por picadura, también llamada corrosión pitting, es un tipo de corrosión que daña metales y aleaciones en áreas específicas. Durante este proceso se forman pequeñas cavidades en la superficie del metal, lo que hace que pierda resistencia. La razón principal de que aparezca este tipo de corrosión es la presencia de oxígeno, humedad y contaminantes en el ambiente. Algunas cosas que pueden causar la corrosión por picadura son imperfecciones en la superficie, alteraciones en el material o problemas en los mecanismos de protección del metal. Estos daños son difíciles de detectar a simple vista, sin embargo, se pueden identificar a través de sistemas de detección como el ultrasonido. En casos donde la corrosión se extienda hacia los lados o sea muy fina se puede medir mediante metalografía, que es el estudio de la estructura de los metales y se clasifica como análisis de falla.

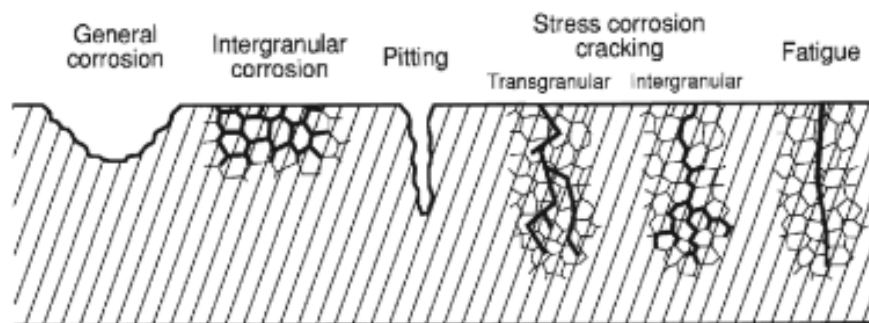


Figura: Formas derivadas de la corrosión pitting

Fuente: Google

FORMAS DERIVADAS DE LA CORROSIÓN PITTING

CORROSIÓN POR FRICCIÓN

Este se produce cuando dos superficies en contacto se mueven mínimamente como si vibrasen esto causa una serie de picaduras en la superficie del metal que pueden quedar ocultas en la suciedad de la corrosión y solo se aprecian cuando se limpia el metal.

CORROSIÓN POR CAVITACIÓN

Es la producida por la formación y colapso de burbujas en la superficie del metal.

CORROSIÓN SELECTIVA

La corrosión puntual Pitting se refiere a aquella que se ejerce exclusivamente sobre metales, como la Plata – Cobre o Cobre – Oro. El aspecto más perjudicial de este tipo de corrosión es una capa que recubre las picaduras, simulando una corrosión inexistente. Esto facilita la ocurrencia de daños en el metal al ser sometido a una fuerza mecánica. De este modo, existen diversas categorías de corrosión puntual pitting, tal como se muestra en la figura.

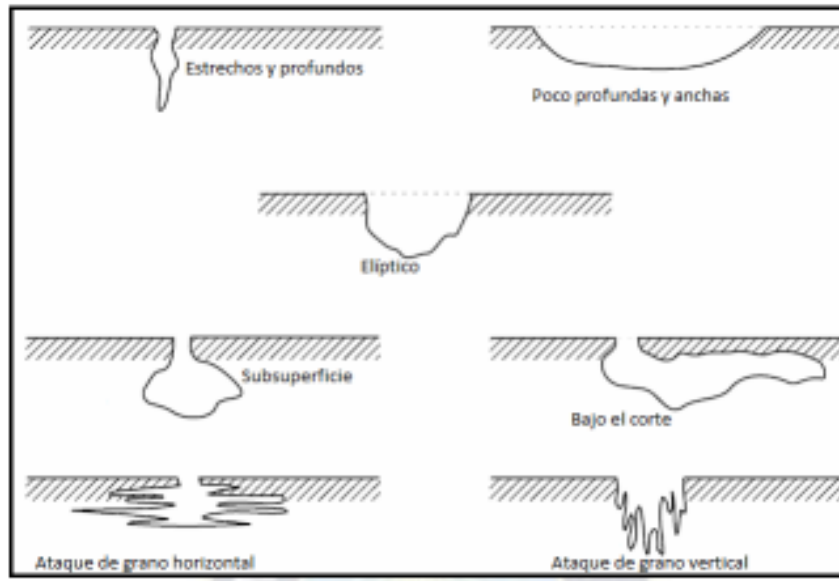


Figura: Tipos de corrosión

Fuente: Venancio Wilson (2019)

CORROSIÓN UNIFORME

La corrosión uniforme es cuando el metal se va desgastando de manera uniforme debido a la pérdida regular de metal en la superficie. Los ambientes atmosféricos son los siguientes:

- **INDUSTRIALES**

Este ambiente se caracteriza por presentar compuestos sulfurosos, nitrosos y otros ácidos. Además, en las fábricas hay muchas partículas en el aire que pueden causar corrosión.

- **MARINOS:**

Esta categoría de entorno se caracteriza por tener ácido clorhídrico, una sustancia muy dañina que causa la corrosión de diferentes sistemas metálicos.

- **RURALES:**

En estos entornos se manifiesta al menos la clase mínima de corrosión atmosférica, caracterizada por niveles reducidos de compuestos ácidos. Los principales factores que inciden en la corrosión atmosférica incluyen la temperatura, la presencia de contaminantes ambientales y la humedad.

MÉTODOS PARA CONTROLAR LA CORROSIÓN

- Uso de inhibidores de corrosión.
- Pinturas y recubrimientos.
- Protección catódica.
- Uso de aleaciones especiales resistentes a la corrosión.

MÉTODO DE MEDICIÓN DE LA CORROSIÓN

En la mayoría de las situaciones, un análisis se realiza en el lugar donde se presenta la corrosión en su entorno natural como método de investigación de corrosión en campo. El único procedimiento eficaz para medir con precisión la actividad corrosiva es a través de la metodología conocida. Es crucial considerar los informes del personal de mantenimiento y operación en investigaciones de corrosión. Estos informes incluyen un análisis de los materiales de construcción y el procedimiento utilizado. Se supervisa la corrosión después de la medición utilizando materiales especializados como inhibidores y biácidos. Los inhibidores se utilizan en casos donde hay presencia de microorganismos en la evaluación de los líquidos que se desplazan por las tuberías. Se considera la opción de utilizar materiales específicos. Después de considerar las diferentes opciones factibles, se toma la decisión final tras un análisis económico detallado.

ANÁLISIS FÍSICO/QUÍMICO DE LA CORRIENTE DE PROCESO

- Método de inspección física
- Cupones de pérdida de peso
- Sistema de sondas de resistencia eléctrica
- Sistema de sondas de resistencia de polarización lineal

SISTEMAS DE PROTECCIÓN PARA EVITAR LA CORROSIÓN

El propósito primordial de un conducto es el transporte seguro de fluidos, siendo considerado seguro cuando puede conservar su contenido durante el período de vida útil de la construcción. Para asegurar la seguridad en el transporte de fluidos, se requiere la implementación de mantenimiento preventivo y

correctivo desde la fase de construcción y durante su funcionamiento mediante los siguientes mecanismos:

PROTECCIÓN MECÁNICA EXTERIOR:

La primera línea de defensa contra la corrosión externa se considera la protección mecánica exterior. El revestimiento, una tubería firmemente adherida a la superficie metálica, tiene como función primordial proteger la isla de los agentes agresivos ambientales. Su principal objetivo es aislar los elementos estructurales reactivos de los agentes corrosivos ambientales. Sin embargo, este revestimiento puede experimentar deterioro a lo largo del tiempo, atribuible a factores como la absorción de agua, las presiones o las abrasiones resultantes de la compactación del suelo, daños ocasionados por las raíces de árboles, ataques bacteriológicos y numerosas otras causas.

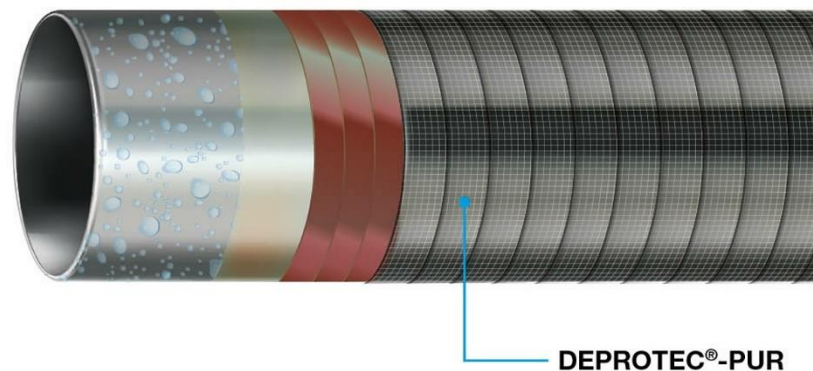


Figura: Cinta de protección Mecánica.

Fuente: Google.

PROTECCIÓN CATÓDICA

La protección catódica es una técnica que fundamentalmente hace que el complejo proceso electroquímico (corrosión) se invierta para así evitar este fenómeno, aplicando una corriente eléctrica para convertir el metal a proteger en cátodo.

COMPONENTES DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA

- **Ánodo:** un electrodo que suministra la corriente eléctrica.
- **Cátodo:** La estructura metálica a proteger.
- **Fuente de corriente:** Un generador o rectificador que suministre la corriente.

- Cableado: Conecta el ánodo y la fuente de corriente.

PROTECCIÓN INTERNA A BASE DE INYECCIÓN DE INHIBIDORES DE CORROSIÓN

Los inhibidores de corrosión son sustancias químicas que se inyectan en el fluido que circula por el sistema, reduciendo la corrosión en las superficies metálicas.

TIPOS DE INHIBIDORES DE CORROSIÓN

- Inhibidores de corrosión anódicos: Previenen la corrosión en el ánodo.
- Inhibidores de protección catódicos: Previenen la corrosión en el cátodo.
- Inhibidores de corrosión mixtos: Combinan propiedades anódicas y catódicas.
- Métodos de inyección:
- Inyección continua: se inyecta el inhibidor de forma constante.
- Inyección intermitente: Se inyecta el inhibidor en intervalos específicos.
- Inyección en pulsos: Se inyecta el inhibidor en pulsos cortos.

VENTAJAS

- Eficaz en sistemas cerrados
- Fácil de implementar
- Reduce costos de mantenimiento
- Prolonga la vida útil del equipo

LIMITACIONES

- Requiere de monitoreo constante.
- Puede Requerir ajustes en la dosis.
- No es efectivo en sistemas con alta velocidad de flujo.
- Puede afectar la calidad del fluido.

EJEMPLOS DE INHIBIDORES DE CORROSIÓN

- Silicatos
- Fosfatos
- Polímeros
- Aminas

CARGAS SOBRE LA SUPERFICIE

COPORTAMIENTO DE TUBERÍAS

En el caso de la instalación de sistemas de tuberías bajo tierra es fundamental que la materialidad de estas posea la resistencia necesaria para cumplir eficientemente sus funciones a lo largo de su vida útil, es por lo que el concepto de “Rigidez” será una característica clave para la selección de tuberías del sistema, teniendo presentes los esfuerzos a los que serán o puedan ser sometidas las tuberías. La rigidez es la capacidad de un material para resistir la flexión y está directamente relacionada con el módulo de elasticidad del material y el momento de la sección transversal de la pared de la tubería que esta dado por su espesor. “Una tubería flexible se ha definido como aquella que se deforma al menos un 2% sin daños estructurales” (Gómez,2024).

ESFUERZOS EN TUBERÍAS BAJO TIERRA

PRESIÓN DEL SUELO:

Referente a la American Water Works Association (AWWA), en su manual de diseño de tuberías recomienda la fórmula que se aprecia en la figura:

$$W_c = w B_c h$$

donde:

W_c = Carga sobre la tubería.

w = peso unitario del suelo en la zona superior de la tubería.

B_c = diámetro externo de la tubería

h = Profundidad desde la superficie hasta la cota clave.

Figura: Formula de carga sobre tubería

Fuente: Gómez Carlos (2024)

CARGAS DINÁMICAS POR TRÁFICO

La principal fuente de cargas vivas de diseño en tuberías son el tráfico de maquinaria y vehículos como por ejemplo grúas horquilla, camiones, tractores etc.

EXPANSIÓN O CONTRACCIÓN DEL SUELO

Los cambios volumétricos en el suelo debido a la humedad, temperatura y otros factores pueden ejercer presión sobre la tubería.

IMPACTO VIBRACIÓN DEL SUELO Y PILOTAJE

Las vibraciones generadas por maquinaria pesada pueden transmitirse al suelo y afectar la integridad de la tubería por ejemplo el tránsito de un ferrocarril cercano a la tubería enterrada.

SISMO

Este fenómeno natural debido al movimiento de las placas tectónicas de la tierra libera altas cantidades de energía las cuales pueden afectar la integridad de tubería.

EFFECTO DE FUERZAS DE COMPACTACIÓN

Posterior a la instalación del sistema de tuberías subterráneo es que se procede con el relleno y preparación de la superficie, lo que implica la compactación de las diferentes capas de relleno. Compactación que puede afectar la integridad de la tubería ya sea por el material de relleno o por el uso de equipos de compactación no adecuados.

TIPOS DE PROTECCIÓN DE TUBERÍAS ENTERRADAS

MAYOR PROFUNDIZACIÓN DEL SISTEMA DE TUBERÍAS:

Aumentar la profundidad de la instalación con el fin de minimizar los efectos o daños mecánicos por las cargas dinámicas superficiales.

GEOCELDAS:

Las geoceldas de protección se colocan en la superficie sobre la tubería mejorando la estabilidad y distribución de cargas externas.



Figura: Geoceldas

Fuente: Google.

TDA:

Material de relleno que por sus características físicas brinda una mejor protección contra impactos y vibraciones.

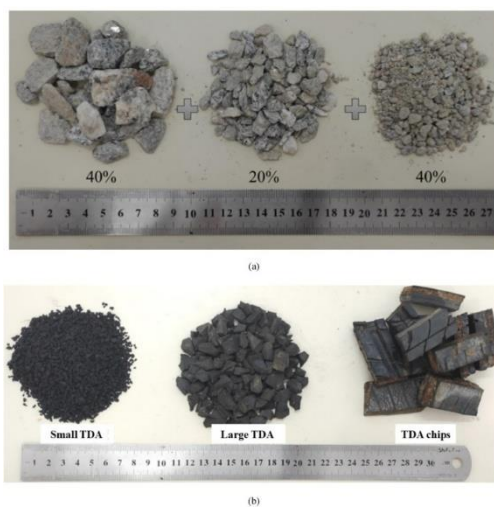


Figura: Mezclas de TDA y subbalasto

Fuente: Google

ANILLOS DE CONCRETO:

Instalación de anillos prefabricados de concreto alrededor de la tubería que brinda mayor estabilidad estructural.



Figura: Anillos de concreto

Fuente: Google

GEOTEXTILES:

Son usados para envolver la tubería y proteger de la erosión y el desplazamiento del suelo.



Figura: Geotextil en tubería

Fuente: Google

ASBESTOS

El asbesto o amianto es un conjunto de minerales fibrosos presentes en la naturaleza y se caracteriza por poseer una alta resistencia al calor y la corrosión. Es por estas propiedades que se ha usado en diferentes productos comerciales como aislantes, frenos de vehículos y materiales de construcción.

EXPOSICIÓN AL ASBESTO

La exposición al asbesto es una condición de peligro puesto que cuando este es alterado libera partículas de sus fibras al medio ambiente, pudiendo ser inhaladas por las personas expuestas a este ambiente, es por esto por lo que en Chile su uso está regulado y reglamentado. (Instituto de Salud Pública, 2021).

MARCO LEGAL

- Decreto supremo N° 656, de 12 de septiembre del 2000, del Ministerio de salud (MINSAL) que “Prohíbe el uso del asbesto en productos que indica”.
- Decreto supremo N° 594, de 1999, del ministerio de salud, que aprueba “Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo”.
- Decreto supremo N° 148, de 2003, del ministerio de salud, que aprueba “Reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos”.
- Ley 16.744 “Establece normas sobre accidentes de trabajo y enfermedades profesionales”.
- D.F.L N° 725, del año 1968, del ministerio de salud, que aprueba el código sanitario (Libro III, De la Higiene y Seguridad del Ambiente y lugares de trabajo).

NORMAS Y TÉCNICAS PARA LA INSPECCIÓN DE TUBERÍAS DE PROCESO

NORMA ASME

El acrónimo ASME por sus siglas en inglés American Society of Mechanical Engineers es una organización profesional líder en el campo de la ingeniería mecánica y disciplinas relacionadas, que permite la colaboración, intercambio de conocimiento y desarrollo de habilidades. Fundada en 1880, ASME tiene como objeto promover el avance y la aplicación de la ingeniería mecánica.

Los miembros de ASME varían desde estudiantes universitarios, ejecutivos de empresas, líderes académicos. ASME proporciona enriquecimiento profesional, aprendizaje permanente y la oportunidad de establecer contactos con profesionales que tengan intereses afines por medio de programas de educación, formación y desarrollo profesional.

ASME B31.3

Esta norma internacional es un código de diseño, construcción y mantenimiento de tuberías para tuberías de procesos en la industria petroquímica, química y de procesos de hidrocarburos.

Su propósito es establecer requisitos para el diseño, construcción, inspección y mantenimiento de tuberías

de proceso para garantizar la seguridad, confiabilidad y eficiencia procesos de plantas químicas, plantas petroquímicas, refinerías, plantas de procesamiento de hidrocarburos e instalaciones relacionadas.

ASME B 31 G

Esta norma internacional es una guía para la evaluación y reparación de tuberías afectadas por corrosión en la industria petrolera y procesamiento de hidrocarburos, su propósito es establecer criterios para evaluar y reparar tuberías dañadas por corrosión, garantizando la seguridad y confiabilidad en la operación de tuberías de acero carbono y aleaciones de acero.

El contenido de esta norma incluye métodos para detectar y evaluar la corrosión, criterios de aceptación, técnicas y materiales para reparar o reemplazar tuberías dañadas por corrosión y requisitos de inspección y prueba de tuberías reparadas.

NORMA API

La API (American petroleum institute) es una organización sin fines de lucro que representa la industria petrolera y de procesamiento de hidrocarburos. Fue fundada en 1919 y su objetivo principal es promover la seguridad, la eficiencia y la sostenibilidad en la producción, refinación, transporte y uso de productos petroleros, estableciendo estándares y normas para la industria petrolera.

API 510: INSPECCIÓN, MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN.

Esta norma tiene como propósito establecer requisitos para la inspección, mantenimiento y reparación de calderas y recipiente a presión en plantas de procesamiento y refinamiento de petróleo.

Su contenido establece los métodos de inspección y evaluación de la condición de los equipos, programas de mantenimiento preventivo, procedimientos de reparación y reemplazos y requisitos para personal calificado

API 570: INSPECCIÓN, MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE SISTEMAS DE TUBERIAS

Esta norma tiene como propósito establecer requisitos para la inspección, mantenimiento y reparación de sistemas de tuberías en plantas de procesamiento y refinación de petróleo.

Su contenido incluye la inspección y evaluación de la condición de las tuberías, programas de mantenimiento preventivo, procedimiento de reparación y reemplazo y requisitos para personal calificado.

API 579: EVALUACIÓN Y REPARACIÓN DE DAÑOS EN EQUIPOS POR CORROSIÓN

Esta norma proporciona una guía para evaluar, reparar daños por corrosión en equipos de procesamiento y refinación de petróleo.

Su contenido incluye la evaluación de la corrosión, técnicas de reparación, materiales y procedimiento y requisitos para personal calificado.

TECNICAS DE INSPECCIÓN PARA TUBERIAS DE PROCESO ENTERRADAS

INSPECCIÓN POR FUGAS DE FLUJO MAGNÉTICO

Este método no destructivo es utilizado para la detección de fugas en tuberías y recipiente a presión y se basa en la propiedad magnética de los materiales ferromagnéticos, como el acero. Cuando un campo magnético se aplica a una tubería o recipiente, las partículas, magnéticas se alinean en la dirección del campo. Si hay una fuga, el campo magnético se perturba, creando una anomalía en el flujo magnético.

EQUIPOS UTILIZADOS

- **MAGNETIZADOR:** Genera un campo magnético fuerte.
- **SENSORES DE FLUJO MAGNÉTICO:** detectan anomalías en el flujo magnético.
- **UNIDAD DE CONTROL:** Procesa los datos y muestra los resultados.

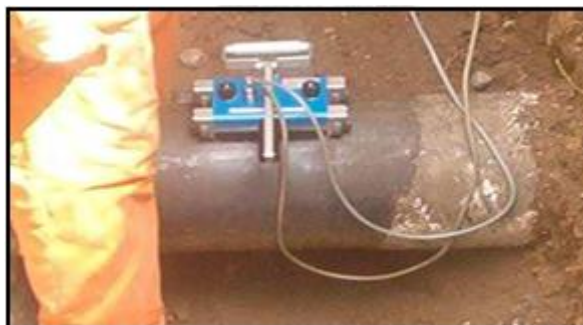


Figura: Técnica de fuga de flujo magnético

Fuente: (Wilson Venancio, 2019)

VENTAJAS

- No destructivo.
- Rápido y eficiente.
- Puede detectar fugas pequeñas.
- No requiere acceso interno.

LIMITACIONES

- Solo funciona en materiales ferromagnéticos.
- Puede ser afectado por factores externos (temperatura, humedad).
- Requiere calibración y mantenimiento del equipo.

INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO

Esta técnica no destructiva se basa en la emisión de ondas sonoras de alta frecuencia (entre 20 kHz y 40 kHz) que viajan a través del aire o del fluido dentro de la tubería. Cuando estas ondas encuentran una fuga, se producen cambios en la frecuencia y amplitud de la señal de ultrasonido.

EQUIPO UTILIZADO

- **EMISOR DE ULTRASONIDO:** Genera las ondas sonoras.
- **SENSOR ULTRASÓNICO:** Detecta las ondas reflejadas.
- **UNIDAD DE CONTROL:** Procesa los datos y muestra los resultados.

VENTAJAS

- No destructivo.
- Rápido y eficiente.
- Puede detectar fugas pequeñas.
- No requiere acceso interno.
- Puede detectar fugas en sistemas a presión y vacío.

LIMITACIONES

- Puede ser afectado por factores externos como ruido y temperatura.
- Requiere de calibración y mantenimiento del equipo.
- No puede detectar fugas en sistemas de fluidos viscosos.

INSPECCIÓN POR ONDA ULTRASONIDO – GUIADO (GWU)

Esta técnica no destructiva se utiliza para inspeccionar tuberías de largas distancias y detectar posibles defectos o daños usando ondas ultrasónicas guiadas que se propagan por la tubería, permitiendo inspeccionar largas distancias sin necesidad de acceso interno. Las ondas se generan mediante un transductor y se miden con sensores. Las ondas utilizadas en esta técnica son dos:

ONDA DE TORSIÓN (TORSIONAL WAVE):

Se utiliza para inspeccionar tuberías de diámetro pequeño.

ONDA DE FLEXIÓN (FLEXURAL WAVE):

Se utiliza para inspeccionar tuberías de grandes diámetros.

EQUIPO UTILIZADO

- Unidad generadora de ondas ultrasónicas.
- Transductores.
- Sensores de detección.
- Unidad de control y procesamiento de datos.

VENTAJAS

- Inspección de largas distancias sin acceso interno.
- Detección de defectos y daños en tuberías enterradas o inaccesibles.
- No destructivo.
- Rápido y eficiente.
- Puede detectar defectos en tuberías de diferentes materiales.

LIMITACIONES

- Requiere de calibración y mantenimiento del equipo.
- Puede ser afectado por factores externo (ruido y temperatura).
- No puede detectar tuberías con revestimiento o recubrimientos.

PROGRAMA Y PLANIFICACIÓN DE INSPECCIÓN

Se debe generar un procedimiento para un continuo seguimiento del estado de las tuberías con el fin de tomar acciones de acuerdo con los resultados de los análisis que se realizarán con cierta frecuencia, en los que se pueden presentar averías, pérdidas registradas, corrosión, cambios sustanciales en cuanto a protección catódica y otras condiciones inusuales. Si el tramo de tuberías no puede ser reacondicionado o sacado de servicio se procederá a reducir la presión máxima de trabajo admisible (MAWP) de acuerdo con el análisis que se puede obtener de ensayos no destructivos (END) como la medición de espesores, considerando los años de servicio y datos de inspecciones realizadas en el pasado.

El programa de vigilancia tiene como objetivo la inspección visual periódica de las instalaciones, considerando los siguientes aspectos:

- Efecto de la exposición o movimiento de las instalaciones del ducto.
- Cambios en la topografía que afecten las instalaciones del sistema de tuberías.
- Evidencias de mala manipulación.
- Efectos de intrusiones sobre instalación del sistema de tuberías.
- Inspección de fugas.
- Inspección de válvulas.
- Inspección de equipos de regulación, alivio de presión y limitación de presión.
- Inspecciones de control de corrosión.
- Inspección de sistemas de medición, manómetros y termómetros.

De acuerdo con el plan de vigilancia y en función del objeto de un plan de mantenimiento se realiza un análisis del control de la corrosión.

CONTROL DE LA CORROSIÓN

Para llevar a cabo los procedimientos de operación y mantenimiento de los sistemas de protección catódica se deben ejecutar planes de trabajo por personal capacitado y experimentado.

La ejecución de estos procedimientos, así como su dirección deben hacerse bajo normativas y lineamientos vigentes.

CONTROL DE LA CORROSIÓN EXTERNA PARA TUBERIAS METALICAS ENTERRADAS

Esta sección comprende la totalidad de tuberías que se encuentren bajo las siguientes condiciones:

- Todos los sistemas de tuberías que se encuentren bajo un medio electrolítico (enterrados o sumergidos), deben contar, a fin de minimizar los riesgos de corrosión con los siguientes elementos de protección:
- Protección mecánica por revestimiento aislante o revestimiento exterior.
- Un sistema de protección catódica.

EXAMEN A DUCTOS ENTERRADOS CUANDO ESTÁN AL DESCUBIERTO

En casos en que las tuberías enterradas se encuentren expuestas o los sistemas de tuberías que de por si estén expuestas, se deben inspeccionar con el objetivo de:

- Detectar procesos de corrosión externa
- Examinar el revestimiento exterior, verificando características y estado de este.

Las inspecciones por realizar deben ser efectuadas por personal calificado para luego ser entregadas al área correspondiente. En caso de encontrar procesos de corrosión externa activos, se deberán tomar medidas correspondientes para su control y corrección.

TÉCNICAS DE INSPECCIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE CORROSIÓN EXTERNA

La evaluación de la corrosión es un proceso que nos permitirá conocer el estado de tuberías por medio de diferentes tecnologías de inspección, de las cuales algunas son:

- Pipeline current maper (PCM).
- Direct current voltaje gradient (DCVG).
- Clouse interval potencias surveys (CIPS).
- Person survey.
- Tecnología de pigs.
- Medición de resistividad del suelo.

PIPELINE CURRENT MAPER (PCM)

Esta tecnología utiliza una combinación de corrientes de Eddy y técnicas de mapeo para detectar y localizar defectos en tuberías, utilizando los siguientes equipos:

- Unidad generadora de corriente.
- Bobina de excitación.
- Sensores de detección.
- Unidad de control y procesamiento de datos.
- Software de mapeo.

VENTAJAS

- Detección precisa de defectos y corrosión.
- Localización exacta de defectos.
- Inspección de largas distancias sin acceso interno.
- Puede detectar defectos en tuberías de diferentes materiales.

DIRECT CURRENT VOLTAGE GRADIENT (DCVG)

Esta tecnología se basa en la aplicación de una corriente continua (DC) a las tuberías, creando un gradiente de voltaje en la superficie. Los defectos de las tuberías perturban el campo eléctrico, generando anomalías en la gradiente de voltaje.

EQUIPO UTILIZADO

- Unidad generadora de corriente continua.
- Electrodo de aplicación de corriente.
- Sensores de voltaje.
- Unidad de control y procesamiento de datos.

VENTAJAS

- Detección precisa de defectos y corrosión.
- Localización exacta de defectos.
- Inspección de largas distancias sin acceso interno.
- Rápido y eficiente.

- Puede detectar defectos de tuberías de diferentes materiales.

CLOUSE INTERVAL POTENCIES SURVEYS (CIPS)

Esta tecnología se basa en la medición del potencial eléctrico en la superficie de la tubería, utilizando una técnica de escaneo a intervalos cerrados.

EQUIPO UTILIZADO

- Unidad de medición de potencial.
- Electrodo de referencia.
- Sensores de potencial.
- Unidad de control y procesamiento de datos.

PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN

- Preparación: limpieza y eliminación de obstáculos.
- Instalación de electrodos y sensores.
- Medición del potencial eléctrico a intervalos cerrados (1-5 cm generalmente).
- Análisis de datos.

VENTAJAS

- Detección precisa de defectos y corrosión.
- Localización exacta de defectos.
- Inspección de largas distancias sin acceso interno.
- Rápido y eficiente.
- Puede detectar defectos en tuberías de diferentes materiales.

PERSON SURVEY

Este método es utilizado para detectar defectos en los revestimientos, sin diferenciar tamaño de estas, esta técnica localiza la ubicación de los defectos en los revestimientos y los objetos metálicos cercanos que puedan generar un gradiente de potencial en el suelo.

Este método se aplica recorriendo la totalidad de la tubería permitiendo evaluar la condición de

los recubrimientos sobre las áreas pavimentadas cuando se le acondiciona un acolchado especial en la prueba como se aprecia en la siguiente figura.



Figura: Esquema de inspección con la técnica Person survey.

Fuente: (Wilson Venancio, 2019)

TECNOLOGÍA DE LOS PGS

Esta tecnología consiste en dispositivos que viajan a través de las tuberías, recolectando datos y realizando inspecciones en tiempo real. Estos dispositivos pueden ser:

- PIGs de limpieza: Eliminan residuos en la tubería.
- PIGs de inspección: Detectan defectos, corrosión y otros problemas.
- PIGs de medición: Miden la geometría y dimensiones de la tubería.

TIPOS DE PIGs

- PIGs magnéticos: Utilizan campos magnéticos para detectar defectos.
- PIGs ultrasónicos: Utilizan ondas ultrasónicas para medir la pared de la tubería.
- PIGs de radiografía: Utilizan rayos X o gamma para inspeccionar la tubería.
- PIGs inteligentes: Utilizan sensores avanzados y algoritmos para analizar datos.

VENTAJAS

- Inspección no destructiva.
- Eficiencia: reduce el tiempo y costo de inspección.
- Precisión: Proporciona datos precisos sobre la condición de la tubería.
- Seguridad: Ayuda a prevenir accidentes y fugas.

MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO

Este sistema de inspección se basa en que las diferentes clases de suelo emiten diferentes señales magnéticas a diferentes profundidades debido a la variedad de componentes que la conforman, al inducir diferentes corrientes electromagnéticas desde el exterior, antenas tipo radar de alta y baja frecuencia, son capaces de obtener señales reflejadas que emiten los componentes del suelo las cuales son llevadas a un equipo e interpretadas.

El estudio de la variación magnética del suelo se muestra como una imagen tipo fotografía de las cuales se pueden tomar lecturas cuantitativas de la intensidad magnética reflejada de componentes del suelo las que son llevadas a una curva, con un software se puede correlacionar la intensidad magnética reflejada con la resistencia al paso de la corriente.

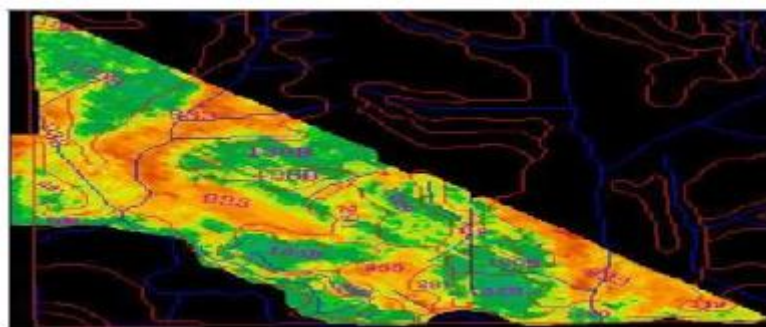


Figura: Mapa de resistividades

Fuente: (Wilson Venancio, 2019)

METODOS CORRECTIVOS PARA EL CONTROL DE LA CORROSIÓN

REPARACIONES

Todo tramo de tubería con un espesor de pared remanente inferior al 30% del espesor nominal y/o con presencia de corrosión generalizada con un espesor de pared remanente menor que el requerido por la presión máxima admisible de operación de tubería, deberá ser reemplazado.

CORROSIÓN GENERALIZADA

Las picaduras por corrosión que estén estrechamente agrupadas como para afectar la resistencia total se la tubería se denomina corrosión generalizada.

Todo tramo de tuberías con corrosión generalizada con un espesor de pared remanente menor al requerido por la máxima presión de trabajo admisible (MAWP) deberá ser reemplazado o en su defecto, reducir la presión de trabajo en base a la resistencia mecánica del espesor de pared remanente.

PICADURA POR CORROSIÓN LOCALIZADA

Todo tramo de tuberías con corrosión generalizada con un espesor de pared remanente menor al requerido por la máxima presión de trabajo admisible (MAWP) deberá ser reemplazado o en su defecto, reducir la presión de trabajo en base a la resistencia mecánica del espesor de pared remanente.

En caso de que el análisis indique que la corrosión presente podría conllevar a pérdidas de material, el operador debe considerar los siguientes pasos:

- Examinar los informes sobre el desarrollo de la corrosión y los registros de fugas.
- Instalar grampas apropiadas para anular fugas, encima de las picaduras.
- Limpiar y revestir la tubería donde se concentren las picaduras de corrosión.
- Aplicar protección catódica.
- Instalar testigos o cupones de corrosión de prueba para controlar el comportamiento de la protección catódica.

DIMENSIÓN MÁXIMA DE LA PICADURA DE CORROSIÓN

Las dos secciones anteriores deben considerar lo establecido a continuación:

La profundidad de una picadura por corrosión puede expresarse como un porcentaje del espesor nominal de la pared de la tubería según la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de profundidad de picadura} = 100(d/t)$$

Donde: **d** = Profundidad máxima del área corroída.

t = Espesor nominal de pared especificado en la cañería.

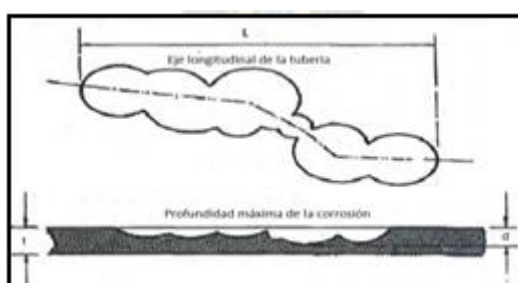


Figura: Profundidad y largo de una picadura

Fuente: (Venancio Wilson, 2019)

FORMULACIÓN PARA PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO / PREDICTIVO

1. INTRODUCCIÓN

1.1 PROPOSITO

1.2 ALCANCE

1.3 RESPONSABILIDADES

1.4 FECHA DE REVISIÓN

2. PROGRAMA DE INSPECCIÓN

2.1 FRECUENCIA

2.2 MÉTODO Y TECNICAS

2.2.1 INSPECCIÓN VISUAL

2.2.2 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

2.2.2.1 FUGAS DE FLUJO MAGNETICO (MFL)

2.2.2.2 ULTRASONIDO

2.2.2.3 ONDA ULTRASONICO - GUIADO (GW)

2.2.2.4 PIPELINE CURRENT MAPPER (PCM)

2.2.2.5 DIRECT CURRENT VOLTAGE GRADIENT (DCVG)

2.2.2.6 CLOUSE INTERVAL POTENCIES SURVEYS (CIPS)

2.2.2.7 PERSON SURVEY

2.2.2.8 TECNOLOGÍA DE LOS PIGS

2.3 PUNTOS DE INSPECCIÓN CRITICOS

3. PRUEBAS Y ENSAYOS

3.1 TIPOS DE PRUEBAS Y ENSAYOS

3.1.1 PRUEBA HIDROSTÁTICA

3.1.2 PRUEBA NEUMÁTICA

3.2 FRECUENCIA

3.3 EQUIPO NECESARIO

4. REPARACIONES Y REEMPLAZOS

4.1 PROCEDIMIENTO

4.2 REPARACIÓN DE UNIONES Y CONEXIONES

4.3 REEMPLAZO DE COMPONENTES Y TUBERÍAS DAÑADAS

4.4 APLICACIÓN DE REVESTIMIENTOS Y PINTURAS

4.4.1 MATERIALES NECESARIOS

5. REGISTRO Y DOCUMENTACIÓN

5.1 FORMATOS

5.1.1 REGISTRO DE INSPECCIÓN Y REPARACIÓN

5.2 ACTUALIZACIÓN

5.2.1 ACTUALIZACIÓN ANUAL DE DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

6. CAPACITACIÓN Y CALIFICACIÓN

6.1 REQUISITOS

6.1.1 CAPACITACIÓN EN TÉCNICAS DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO

6.2 PROCEDIMIENTO

6.2.1 CAPACITACIÓN ANUAL PARA PERSONAL DE MANTENIMIENTO

6.3 ARCHIVOS DE REGISTRO

6.3.1 INSPECCIONES Y REPARACIONES

6.3.2 PRUEBAS Y ENSAYOS

6.3.3 REPARACIONES Y REEMPLAZOS

6.3.4 CAPACITACIÓN Y CALIFICACIÓN

ESTUDIO E INTERPRETACIÓN DE LAS NORMAS ASME B31 G Y API 579

Con estas normativas internacionales se podrá obtener resultados acerca de la máxima presión de trabajo y la vida remanente de las tuberías, usando los datos obtenidos de los análisis realizados, identificando y evaluando los defectos presentes en las tuberías de manera que la inspección sea satisfactoria, entregando un informe donde se pueda verificar lo estudiado, analizado y recomendado.

EVALUACIÓN DE DEFECTOS BAJO NORMA ASME B31 G

Bajo esta norma podremos determinar la integridad de las tuberías afectadas por corrosión por medio de la identificación y clasificación de defectos según el tipo y severidad. Calculando características de los defectos como porcentaje de profundidad y longitud.

LIMITACIONES DEL CÓDIGO

Este código no se aplica a sistemas de tuberías de acero de alta resistencia o baja aleación (acero inoxidable). No puede ser usado en tuberías afectadas por corrosión longitudinal, defectos mecánicos y defectos introducidos a la tubería.

METODO DE ACEPTACIÓN

Para que una tubería afectada por corrosión sea aceptada para continuar en funcionamiento, se debe calcular el MAWP (Maximum Allowable Working Pressure) y ser evaluada en función de la presión de trabajo del sistema y efectuar la toma de decisiones.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Se debe tener en consideración el MAWP del área corroída, la longitud y profundidad de la zona corroída.

PORCENTAJE DE PROFUNDIDAD DE UN DEFECTO

$$\% \text{ Profundidad} = (P/E) * 100$$

P: Profundidad del defecto.

E: Espesor de pared donde se encuentra el defecto.

La ASME B31G establece que el porcentaje de profundidad no puede superar el 40% del espesor de pared de la tubería. Si el porcentaje es mayor al 40%, se considera que el defecto es crítico y requerirá

de una evaluación más exhaustiva para determinar si la tubería es segura para su uso.

LONGITUD MÁXIMA ADMISIBLE DE UN DEFECTO

La ASME B31 G establece que la longitud máxima admisible de un defecto no debe exceder el valor calculado mediante la siguiente fórmula: $L = (1,12 * t * \sqrt{(2,5 * \sigma / (P * D))}) * (1 - (d/t))$

Donde:

L: Longitud máxima admisible de un defecto (en pulgadas).

t: Espesor de pared de la tubería (en pulgadas).

σ : Resistencia a la tensión del material de la tubería (en PSI).

P: Presión de operación de la tubería (en PSI).

D: Diámetro exterior de la tubería (en pulgadas).

d: Profundidad del defecto (en pulgadas).

Si la longitud del defecto es mayor al resultado de la fórmula anterior, se considerará como un defecto crítico y se requerirá de una evaluación más detallada para determinar si la tubería es segura para su uso.

MÁXIMA PRESIÓN DE OPERACIÓN ADMISIBLE (MAWP)

El MAWP podrá ser calculado aplicando el tercer criterio de la ASME B31G el que consiste en la evaluación de la longitud de un defecto en una tubería y las propiedades del material mediante la siguiente fórmula:

$$\text{MAWP} = (2 * t * \sigma) / (D * (1 + (L / (2 * t))))$$

Donde:

MAWP: Presión máxima permitida (en PSI).

t: Espesor de la pared (en pulgadas).

σ : Resistencia a la tensión del material de la tubería (en PSI).

D: Diámetro exterior de la tubería (en pulgadas).

L: Longitud del defecto (en pulgadas).

Es importante mencionar que esta fórmula es solo una guía y que la determinación del MAWP debe ser realizada por un profesional calificado y experimentado en la evaluación de tuberías.

TASA DE CORROSIÓN

La tasa de corrosión será determinada en milímetros por año, para poder determinar la tasa de corrosión

se necesitará tener datos del espesor inicial y actual y los tiempos que existen entre inspecciones como se muestra en la siguiente fórmula:

$$C \text{ rata}(\text{mm/año}) = (t \text{ inicial} - t \text{ actual}) / \text{tiempo}$$

Donde:

C rata: Tasa de corrosión

t inicial: Espesor inicial

t actual: Espesor actual

tiempo: tiempo entre inspecciones

En las zonas en que se detecte una alta velocidad de corrosión, se estudiará el porqué de estos resultados bajo lo reglamentado en las normas, ayudando a tomar determinaciones respecto de sistemas de protección a implementar en las áreas afectadas. Finalmente, se determina la vida remanente de la tubería.

VIDA REMANENTE

Para llevar a cabo el cálculo de vida remanente de una tubería, antes debemos obtener la tasa de corrosión y aplicarla en la siguiente fórmula:

$$\text{Vida remanente} = (t \text{ actual} - t \text{ requerido}) / C \text{ rata}$$

V: Vida remanente

T actual: Espesor real

T requerido: Espesor inicial

C rata: Tasa de corrosión

CAPITULO II: DESCRIPCIÓN DE LA RED DE INCENDIO

COMPONENTES DE LA RED DE INCENDIO

A continuación, se muestran componentes de la red de incendios, comenzando por el conjunto de bombas y motor del sistema contra incendios, cañerías, grifos y uniones que dejan en evidencia la diversa materialidad del circuito de tuberías de la red de incendios.

CONJUNTO BOMBA MOTOR

ESPECIFICACIONES DE MOTOR Y BOMBAS

La red de incendio es suministrada por estanques de almacenamiento y presurizada por un conjunto de bombas y motor, motor de combustión interna para accionamiento de bombas centrífugas contra incendios:

MODELO: JI14H-UF11 SMART P/N: OAC MFG S/N: 25404509J3125.

RANGO DE FUNCIONAMIENTO o: -71 BHP a 3000 RPM Hasta 71 BHP a 3000 RPM
CABALLOS DE FUERZA. LOS DESTRENDIMIENTOS DENTRO DEL RANGO DE VELOCIDAD ESPECIFICADO DEBEN DETERMINARSE MEDIANTE EL USO DE INTERPOLACIÓN LINEAL A VELOCIDADES MÍNIMAS Y MÁXIMAS REQUERIDAS
COMBUSTIBLE: DIESEL ASTM D975-03.



Figura: Conjunto Bomba – Motor

Fuente: Propia

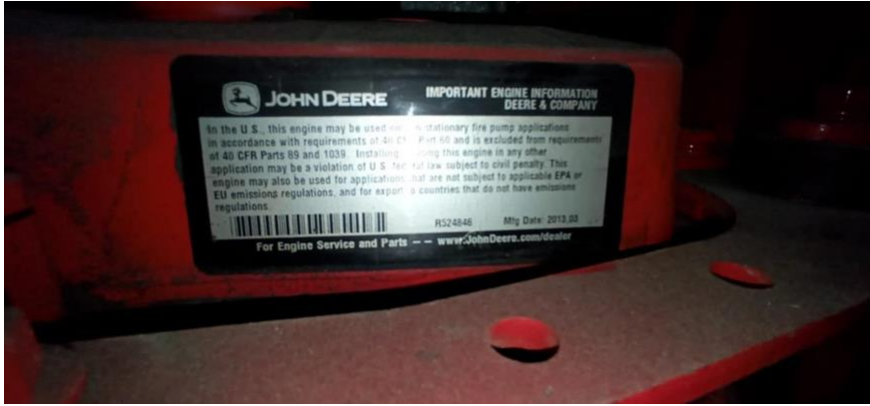


Figura: Placa de información de motor a combustión
Fuente: Propia



Figura: Válvula de retención
Fuente: Propia



Figura: Válvula de compuerta
Fuente: Propia



Figura: Grifo
Fuente: Propia



Figura: Grifo a un costado de sala de bombas
Fuente: Propia



Figura: Unión flexible brida de acero en Muelle 2

Fuente: Propia

DESCRIPCIÓN DE TUBERIAS

Las tuberías que conforman el sistema contra incendios del terminal portuario, evidencian una variedad de materiales en su composición, pudiendo identificar tuberías de acero carbono, tuberías de PVC de alta presión y tuberías de Rocalit, las cuales cabe mencionar que su instalación está prohibida en Chile desde marzo del 2001, fecha en que entró en vigencia el decreto N°656 del 12/09/2000 del MINSAL, por lo que, en concordancia con lo estipulado en su artículo 1 del Decreto 656/2000, es que cuando se presentan fallas por rotura en estas cañerías, su reparación contempla el reemplazo de este material en las zonas afectadas por otro, el cual generalmente es reemplazado por PVC.

A continuación, se muestra una descripción de tuberías del terminal portuario.

Clase de tubería	A-106 Gr.B					PVC-U
Código de diseño	ASME B31.3					NCH-399
Tratamiento térmico	NO					SI
Rating	150					PN 10
Límite de Temp [C°] y Presión [barg]	-29 38	100	121		0 60	
	20	18	10		10 2	
Material	Acero carbono (CS)					Policloruro de vinilo no plastificado
Corrosión admisible	1,5					
Servicio:	F	Fire water				Transporte de fluidos bajo presión
Tipo de tubería	NPS	Material	SCH	Rating	Norm. Dim	Ext.
SMLS	6"	ASTM A106 Gr B	40	150	ASME B36.10	RF
SMLS	4"	ASTM A106 Gr B	40	150	ASME B36.10	RF
PVC	160mm	ASTM D2241	10mm	PN10	NCH-399	

Figura: Piping class de tuberías del recinto portuario.

Fuente: Puerto Lirquén



Figura: Tubería enterrada.

Fuente: Propia



Figura: Red de incendios "Muelle 1"

Fuente: Propia





Figura: Segmento red de incendio “Embarcadero – Muelle 1”.

Fuente: Propia.

Figura: Unión universal, tubería de acero a tubería de PVC

Fuente: Propia



Figura: Cañería de Rocalit

Fuente: Google

SITUACIÓN ACTUAL

En la actualidad la red de incendio es la encargada de asegurar la integridad de los activos dentro del recinto portuario ante la ocurrencia de incendios, principalmente en bodegas, muelles, zonas de lavado, edificios, talleres, cargas y mercancías que son acopiadas dentro del puerto ya sea en bodegas o canchas de acopio, considerando la amplia variedad de materiales combustibles que circulan por el puerto, es necesario mantener la red de incendio en estado óptimo en caso de ser requerida. Al analizar el historial de fallas de la red se pudo apreciar la ocurrencia de fallas en distintos sectores del puerto, sin embargo, se pudo detectar que los sectores principalmente afectados son “Patio Triangulo” y “Muelle 1”.

HISTORIAL DE FALLAS DE LA RED DE INCENDIOS

N	Fecha de inicio	Ubicación	Tipo de fuga	Días de mantenimiento	Horas de mantenimiento	Tiempo entre fallas	horas en servicio
1	29-11-2017	Patio triangulo	Fuga por corrosion	2	48	0	0
2	09-08-2018	Patio triangulo	Rotura	3	72	270	6480
3	14-09-2018	Muelle 2	Rotura	4	96	35	840
4	07-11-2018	Muelle 1	Fuga por corrosion	2	48	53	1272
5	13-11-2018	Patio tosca	Fuga por corrosion	1	24	6	144
6	14-11-2018	Patio central	Fuga por corrosion	2	48	1	24
7	15-01-2019	Muelle 1	Fuga por corrosion	2	48	61	1464
8	27-03-2019	Patio tosca	Fuga por corrosion	1	24	72	1728
9	04-04-2019	Muelle 1	Rotura	4	96	7	168
10	11-04-2019	Patio triangulo	Fuga por corrosion	1	24	7	168
11	23-04-2019	Muelle 1	Fuga por corrosion	3	72	0	0
12	23-04-2019	Patio tosca	Rotura	5	120	12	288
13	24-04-2019	Patio tosca	Rotura	3	72	1	24
14	25-04-2019	Muelle 1	Fuga por corrosion	2	48	1	24
15	12-06-2019	Patio tosca	Rotura	4	96	47	1128
16	22-06-2019	Muelle 1	Fuga por corrosion	3	72	10	240
17	05-01-2020	Muelle 1	Fuga por corrosion	1	24	210	5040
18	12-01-2020	Patio tosca	Rotura	1	24	7	168
19	24-02-2020	Muelle 1	Fuga por corrosion	2	48	42	1008
20	06-03-2020	Patio tosca	Rotura	3	72	12	288
21	09-05-2020	Muelle 1	Fuga por corrosion	4	96	63	1512
22	08-07-2020	Muelle 1	Fuga por corrosion	2	48	59	1416
23	15-08-2020	Patio triangulo	Rotura	4	96	37	888
24	30-09-2020	Muelle 1	Fuga por corrosion	4	96	45	1080
25	06-10-2020	Muelle 2	Rotura	2	48	6	144
26	09-11-2020	Patio triangulo	Rotura	5	120	33	792
27	02-12-2020	Muelle 1	Fuga por corrosion	5	120	23	552

Figura: Historial de fallas.

Fuente: Propia

27	02-12-2020	Muelle 1	Fuga por corrosion	5	120	23	552
28	08-05-2021	Patio central	Fuga por corrosion	4	96	156	3744
29	06-06-2021	Muelle 1	Fuga por corrosion	3	72	28	672
30	15-07-2021	Muelle 1	Fuga por corrosion	4	96	38	912
31	30-08-2021	Patio triangulo	Rotura	3	72	45	1080
32	14-09-2021	Muelle 1	Rotura	2	48	14	336
33	04-10-2021	Patio central	Rotura	3	72	20	480
34	07-11-2021	Muelle 1	Rotura	5	120	37	888
35	19-12-2021	Patio triangulo	Rotura	3	72	42	1008
36	04-01-2022	Patio central	Fuga por corrosion	4	96	25	600
37	05-02-2022	Muelle 1	Fuga por corrosion	2	48	1	24
38	15-03-2022	Muelle 1	Fuga por corrosion	2	48	40	960
39	06-06-2022	Muelle 1	Fuga por corrosion	3	72	69	1656
40	07-08-2022	Muelle 2	Rotura	4	96	61	1464
41	24-09-2022	Patio central	Fuga por corrosion	3	72	47	1128
42	09-10-2022	Muelle 1	Fuga por corrosion	4	96	19	456
43	21-11-2022	Patio central	Rotura	3	72	42	1008
44	09-12-2022	Patio triangulo	Rotura	4	96	18	432
45	03-05-2023	Muelle 1	fuga por corrosion	4	96	144	3456
46	16-05-2023	Muelle 1	fuga por corrosion	4	96	13	312
47	01-08-2023	Muelle 2	Rotura	4	96	75	1800
48	07-08-2023	Muelle 1	fuga por corrosion	3	72	6	144
49	26-09-2023	Muelle 1	fuga por corrosion	5	120	49	1176
		TOTAL		151	3624	2109	50616

Figura: Historial de fallas.

Fuente: Propia

MANTENIMIENTO ACTUAL

En la actualidad la red de incendios se mantiene mediante la aplicación de mantenimiento correctivo, ya que no se cuenta con un plan de mantenimiento preventivo/predictivo que contemple todo el sistema contra incendios considerando tuberías sumergidas y aéreas.

CAPITULO III: ESTUDIO DE LA RED DE INCENDIO

PROBLEMA

Debido al mantenimiento empleado en la red de incendios es que presenta un deterioro avanzado, ya que el mantenimiento empleado es de tipo correctivo, lo que ha producido altos costos de mantenimiento, pérdidas de presión en el sistema, aumentos en el pago de agua, mantenciones de emergencia, aumento del consumo energético. Se evidencia el deterioro total de los sistemas de protección contra la corrosión en los segmentos de tuberías aéreas, todo esto hace que la disponibilidad de la red de incendio se vea afectada.



Figura: Corrosión pitting

Fuente: Propia



Figura: Deterioro actual de sistema de protección por
revestimiento

Fuente: Propia

FALLAS DEL SISTEMA CONTRA INCENDIOS

FALLAS POR SOBRECARGA

De acuerdo con lo analizado del historial de fallas de la red de incendios y lo visualizado en terreno se pudo determinar que un 30% de las filtraciones por rotura se presentan en el sector “Patio triangulo” ya que ésta, es una zona en la que se almacenan bobinas de acero, las cuales tienen un peso promedio de 14.000 kg y un volumen de 1,6 m³ lo que implica grandes cargas en una superficie reducida.

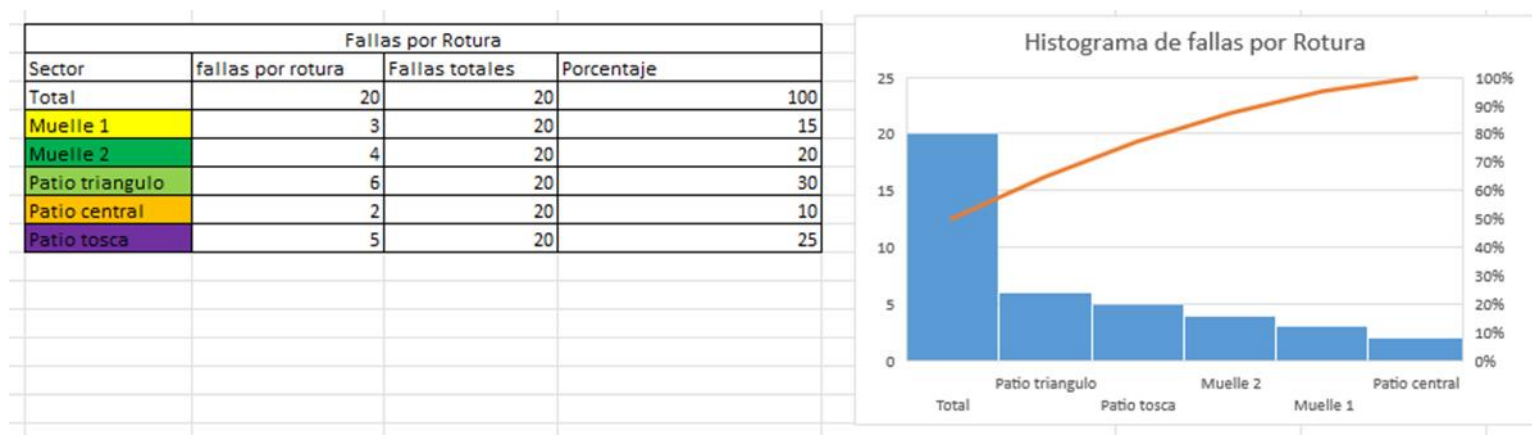


Figura: Histograma de fallas por rotura

Fuente: Propia

PATIO TRIANGULO

De acuerdo con lo analizado del historial de fallas y lo inspeccionado en terreno se pudo determinar que la red de incendios presenta fallas por rotura en la sección comprendida en este sector, la cual está enterrada a 1,2 metros de profundidad, posee una longitud de 100 metros y está compuesta por diversos materiales como PVC, Rocalit y acero. Las fallas producidas en esta sección de la red se deben a una variedad de condiciones que han afectado directamente el comportamiento y estado de las tuberías a través del tiempo, contemplando factores como: exposición constante a vibraciones por el tráfico de vehículos de carga, ferrocarriles, grúas, camiones – rampla, tractores y Reach Stackers. Además, ya no se cuenta con el sistema de protección contra la corrosión (pinturas antioxidantes) que se instaló en un principio a la red contra incendios. La presencia de filtraciones por rotura es debida también a la sobre carga aplicada en la superficie del área, ya que se evidenció el almacenamiento de materiales como tuberías de acero de grandes dimensiones, bobinas de acero y placas de acero, afectando principalmente las uniones presentes en la red como lo son coplas, codos, uniones universales y uniones bridadas.



Figura: Plano de segmento red de incendio “Patio Triangulo”

Fuente: Propia



Figura: Tránsito de ferrocarril

Fuente: Propia



Figura: Descarga de bobinas de acero

Fuente: Propia



Figura: Tuberías de grandes dimensiones

Fuente: Propia



Figura: Almacenaje de bobinas de acero

Fuente: Propia



Figura: Rotura de unión de cañerías PVC-ACERO

Fuente: Propia

FALLAS POR CORROSIÓN

De acuerdo con los datos analizados del historial de fallas de la red de incendio, se pudo determinar que los segmentos de cañerías del sector “Muelle 1”, concentran alrededor del 70% de filtraciones por corrosión, esto debido a que se encuentra expuesta a la atmosfera salina sin sistema de protección, ya que el mecanismo de protección por revestimiento instalado en un principio finalizo su vida útil.

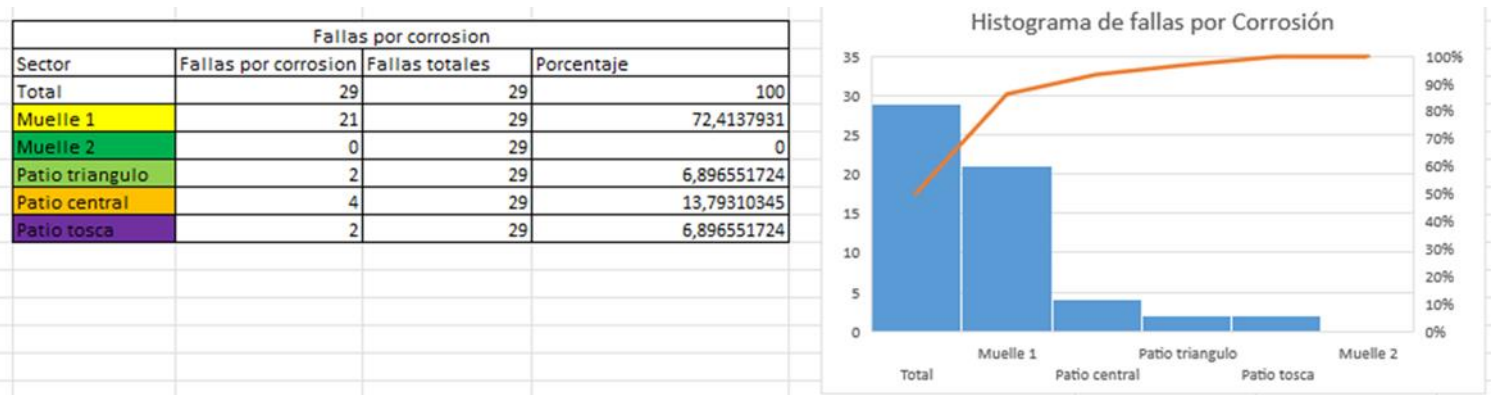


Figura.: Histograma de fallas por corrosión

Fuente: Propia

CORROSION PITTING

Se determino la presencia de corrosión pitting mediante inspecciones visuales, en las que se observó corrosión generalmente concentrada en áreas pequeñas, áreas en contacto con otras estructuras presentes en la distribución de la red, otro indicio que permitió identificar la corrosión pitting fue la presencia de fisuras y una pigmentación rojiza en las zonas afectadas.



Figura: Reparación de filtración con collarín de reparación

Fuente: Propia

CORROSIÓN POR FRICCIÓN

Se detectó la presencia de corrosión por abrasión en diferentes puntos de la red de incendios, este tipo de corrosión se presenta principalmente en los antiguos soportes de la red de incendio ubicada en el sector “Muelle 1”, esto se debería a que los soportes no cuentan con mecanismos que mitiguen los daños producto de la corrosión, además se pudo evidenciar la ocurrencia de constantes vibraciones producto del tráfico de maquinaria pesada como: camiones tolva, tractores y cargadores frontales.



Figura: Soportes de cañerías corroídos por fricción

Fuente: Propia

CORROSIÓN UNIFORME

La red de incendios presenta este tipo de corrosión principalmente en aquellos segmentos de la red que se encuentran bajo tierra, en la cual se pudo apreciar un deterioro uniforme de la cañería, la cual, al igual que en otras áreas de la red, cuenta con un mecanismo de protección contra la corrosión sumamente deteriorado.



Figura: Cañería afectada por corrosión uniforme

Fuente: Propia

FORMULACIÓN Y RECOPIACIÓN DE DATOS PARA EVALUAR ESTADO DE TUBERIAS DEL TRAMO “MUELLE 1 – EMBARCADERO”

METODOLOGÍA

Teniendo en cuenta los objetivos generales y específicos de este trabajo de memoria. Se desarrolló la siguiente metodología, teniendo en cuenta los aspectos generales de las normas ASME B31G, obtención de datos, identificación de tuberías, estudio e interpretación del código ASME B31G, API 570 y API 579. Se analizarán y evaluarán los defectos presentes en el sistema de tuberías de la red de incendios del recinto portuario aplicando el código ASME B31G y se calculará la vida remanente con base en la norma API 579, para finalizar presentando los resultados y el análisis de los datos obtenidos.

OBTENCIÓN DE DATOS

La recopilación de datos ha sido a través de una empresa externa al terminal portuario, (empresa contratista), de la que se obtuvo una muestra del historial de fallas de la red de incendios, inspecciones visuales y reparaciones de fugas y roturas por sobre carga, las cuales se concentran en los sectores denominados, “Patio Triangulo” y “Muelle 1”. El tiempo que llevan en servicio estos tramos de la red de incendio es superior a 20 años aproximadamente. La materialidad de las tuberías es ASTM A-106 grado B de 4”, 6” y 8” de diámetro y un Schedule 40 y 20, sin protección catódica presente en los tramos mencionados anteriormente, el tramo de tuberías del sector “Patio Triangulo” presenta una variedad en cuanto a su materialidad, compuesta por tuberías de acero carbono A-106 grado B, PVC NCH399 de alta presión y Rocalit, además de pinturas antióxido y sistema de protección contra la humedad y la erosión del suelo (geotextil), utilizando técnicas de inspecciones visuales mediante calicatas, para la evaluación de tramos enterrados de la red, se pudieron identificar deficiencias que se presentan más adelante, además de longitudes de la red de incendios, profundidad, estado de los sistemas de protección contra la corrosión y demás.

INVESTIGACIÓN DEL TIPO DE TUBERÍA

De acuerdo con lo analizado en terreno e información recopilada del terminal portuario se determinó que la materialidad de las tuberías de acero presentes en la red de incendios son de tipo ASTM A-106 grado B de 6” de diámetro y un Schedule 40 bajo la normativa internacional de diseño ASME B31.3.

ASTM A-106 Caños de acero al Carbono sin costura, de 1/8" a 24" de alta calidad para temperaturas elevadas.

	C % max.	Mn %	Si %	Ruptura (Kg/mm2)	Fluencia (Kg/mm2)
Gr.A (bajo Carbono)	0,25	0,27-0,93	0,10	34	20
Gr.B (medio Carbono)	0,30	0,29-1,06	0,10	41	24
Gr.C (alto Carbono)	0,35	0,29-1,06	0,10	48	27

Figura: Tipos de acero al carbono con o sin costura para conducción.

Fuente: Quiroz, M. (2024) Mantenimiento a equipos estáticos

MARCO PRÁCTICO

A continuación se muestra la aplicación de los aspectos generales de normativas internacionales para la evaluación de la zona más afectada por corrosión del terminal portuario, que es el sector Muelle 1, aplicando parámetros establecidos en la norma ASME B31G para verificar el estado de corrosión de las tuberías del tramo “Muelle 1 – Embarcadero”, que cumplen la función de suministrar agua de servicio en la zona de embarcadero y la protección de mercancías, infraestructura, trabajadores y del medio ambiente, ante un incendio en el muelle.

CRITERIO 1

Primeramente, se calculará el porcentaje de profundidad de los defectos del tramo de tuberías:

Mulle 1 – Embarcadero.

$$\% \text{ Profundidad} = (P/E) * 100$$

Se establecen las siguientes condiciones:

- Si el % profundidad < 80% = El defecto continúa a la etapa 2.
- Si el % profundidad > 80% = El defecto debe ser reparado.

Se detectó un total de 12 defectos a lo largo del sistema de tuberías “Muelle 1 – Embarcadero”. De estos, 5 presentan un porcentaje de profundidad mayor al 80% y se encuentran a distancias específicas del inicio del muelle 1: 12 metros, 35 metros, 70 metros, 87 metros y 98 metros, los cuales, de acuerdo con la norma, deben ser reparados inmediatamente. Los 7 defectos restantes presentan un porcentaje de profundidad inferior al 60%, por lo que, de acuerdo con la norma ASME B31G no ameritan reparación inmediata ni continuar al segundo criterio de evaluación, que consiste en medir la longitud de los defectos.

CRITERIO 2

Evaluación de longitud admisible (L) del defecto:

$$L = (1,12 * t * \sqrt{(2,5 * \sigma / (P * D))}) * (1 - (d/t))$$

Si el (L) medido > (L)admisible = Se pasa al criterio 3.

Si el (L) medido < (L)admisible = El segmento de tubería puede seguir operando.

Se determinó que los 7 defectos presentes con un % de profundidad inferior al 60% no continúan con el siguiente criterio de evaluación, que es el cálculo del MAWP, ya que las tuberías podrán seguir operando siempre y cuando sean reparados los 5 defectos que presentan un porcentaje de profundidad mayor al 80%.

CRITERIO 3

Taza de corrosión:

Se determinó que el inicio del tramo de tuberías “Muelle 1-Embarcadero”, en sus primeros 100 metros, presenta la tasa de corrosión más alta debido a que en esta sección del sistema de tuberías se concentran la mayoría de los defectos que ameritan reparación inmediata.

VIDA REMANENTE

Se infiere que, al realizar reparaciones a los defectos presentes, las tuberías podrían seguir en operación por al menos dos años según API 570, la cual recomienda realizar inspecciones en plazos no mayores a 5 años.

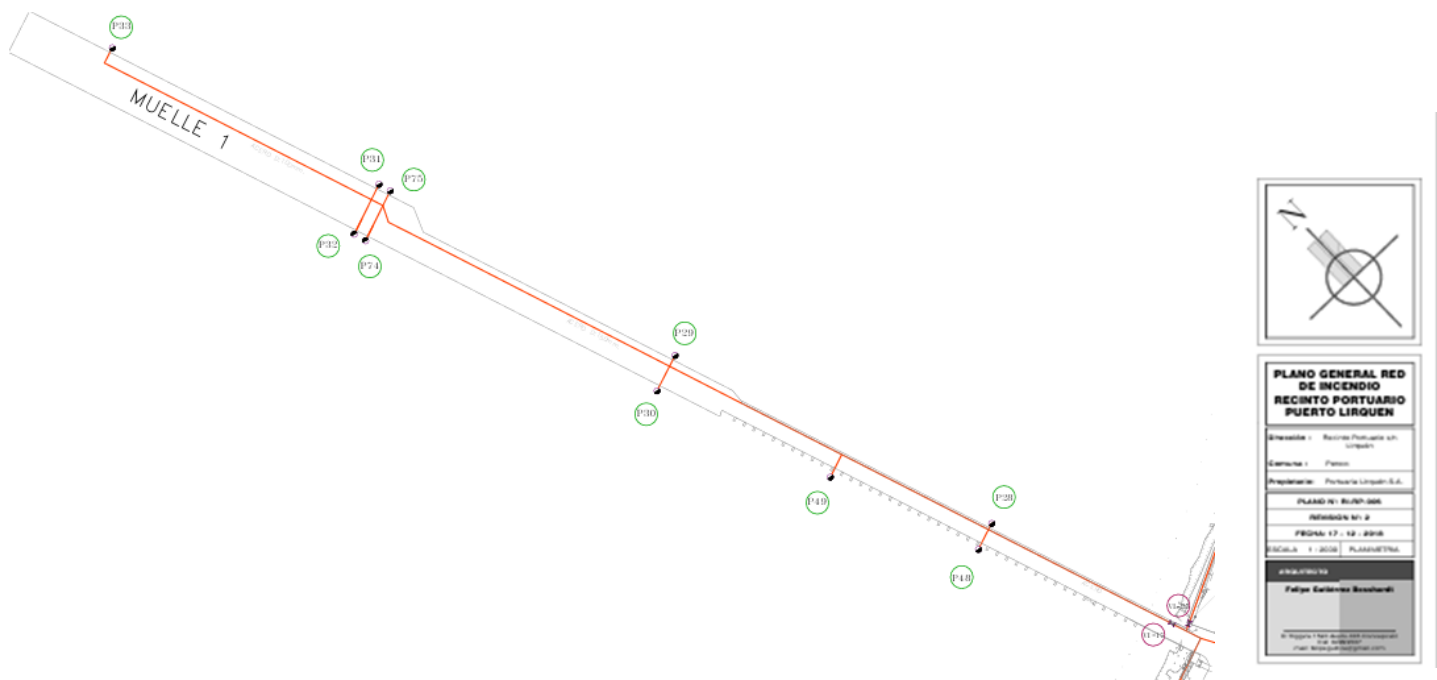


Figura: Plano Red de incendio Muelle 1
Fuente: Puerto Lirquén

DISPONIBILIDAD

De acuerdo con los datos obtenidos del análisis realizado al historial de fallas del equipo, se puede determinar que los tiempos medios entre fallas (MTBF), de la red de incendios en el periodo 2017-2023, es de 1059 hrs y un tiempo medio de reparación (MTTR) de 72 hrs. De acuerdo con los valores de estos indicadores es que se puede obtener la disponibilidad del activo la cual resulta en un 93%, lo que indica que a pesar de las deficiencias y/o deterioros presentes en la red contra incendios, esta presenta una alta disponibilidad.

Periodo	Hrs / Averías	MTBF
MTBF Periodo 2017-2018 (8400hrs)	Hrs Trabajo	8760
	N° averías	6
MTBF Periodo 2017-2019	Hrs Trabajo	13932
	N° averías	16
MTBF Periodo 2017-2020	Hrs Trabajo	26880
	N° averías	27
MTBF Periodo 2017-2021	Hrs Trabajo	36000
	N° averías	28
MTBF Periodo 2017-2022	Hrs Trabajo	24636
	N° averías	35
MTBF Periodo 2017-2023	Hrs Trabajo	50616
	N° averías	49
Promedio de MTBF		1053,058239

Figura: Calculo de MTBF
Fuente: Propia

MTTR			
Periodo	Tiempo de rep. / Averias		MTTR
MTBF Periodo2017-2018	Tiempo de reparacion	336	56
	N' averias	6	
MTBF Periodo2017-2019	Tiempo de reparacion	1008	63
	N' averias	16	
MTBF Periodo2017-2020	Tiempo de reparacion	1800	66,66666667
	N' averias	27	
MTBF Periodo2017-2021	Tiempo de reparacion	2448	87,42857143
	N' averias	28	
MTBF Periodo2017-2022	Tiempo de reparacion	3144	89,82857143
	N' averias	35	
MTBF Periodo2017-2023	Tiempo de reparacion	3624	73,95918367
	N' averias	49	
Promedio MTTR			72,8138322

Figura: Calculo de MTTR

Fuente: Propia

Disponibilidad por periodos de tiempo		
Periodo de tiempo	Horas	Disponibilidad
D 2017-2018	8400	96%
D 2017-2019	13680	93%
D 2017-2020	26376	93%
D 2017-2021	35544	93%
D 2017-2022	44064	93%
D 2017-2023	51048	93%

Figura: Calculo de disponibilidad

Fuente: Propia

CAPITULO IV: SOLUCIONES

PROPUESTAS

PROPUESTA DE MEJORA A TUBERIA ENTERRADAS.

Debido a que alrededor de un 80% de las tuberías de la red de incendio se encuentran enterradas, es que se propone la implementación de un plan de mantenimiento preventivo/predictivo que contemple en su programa de inspección, técnicas de evaluación de deficiencias en tuberías enterradas.

Métodos:

- Pipeline current mapper (PCM)
- Direct current voltage gradient (DCVG)
- Close interval potencies surveys (CIPS)
- Person survey
- Tecnología de los PIGS

PROPUESTA DE MEJORA “MUELLE 1”

Esta propuesta de mejora tiene como objetivo aumentar la fiabilidad del sistema contra incendios en el “Muelle 1” del puerto de Lirquén.

A causa de deficiencias causadas por corrosión por el completo deterioro de los sistemas de protección contra la corrosión. La propuesta consiste en la instalación de un nuevo sistema de tuberías de acero carbono desde el inicio del muelle hasta el sector de embarcadero.

La materialidad del nuevo sistema de tuberías para el sistema contra incendios fue seleccionada en base a lo sugerido por la normativa ASME B31.3 (Energy systems), esta especifica que para sistemas de servicio tipo “Fire Water” se utilizarán tuberías de acero carbono (CS), normativa que fue estudiada y usada como guía para la selección de componentes y materiales utilizados en esta propuesta de mejora.

PIPING CLASS DE LA PROPUESTA DE MEJORA

Clase de tubería						
Código de diseño	ASME B31.3					
Tratamiento térmico	NO					
Rating	150					
Límite de Temp [C°] y Presión [barg]	-29 38	100	121			
	20	18	10			
Material	Acero carbono (CS)					
Corrosión admisible	1,5					
Servicio:	F	Fire water				
Tipo de tubería	NPS	Material	SCH	Rating	Norm. Dim	Ext.
SMLS	6"	ASTM A106 Gr B	40	150	ASME B36.10	RF
SMLS	4"	ASTM A106 Gr B	40	150	ASME B36.10	RF
Accesorios	NPS	Material	SCH	Rating	Norm. Dim	Ext.
Codos	4"	ASTM A-234	40	150	ANSI B16.9	RF
TEE reducción	6"- 4"	ASTM A-234	STD	150	ANSI B16.9	RF
Bridas	NPS	Material	SCH	Rating	Norm. Dim	Ext.
Weld Neck (WN)	6"	ASTM A-105	XS	150	ASME B16.5	RF
	4"	ASTM A-105	XS	150	ASME B16.5	RF
Juntas	NPS	Material	SCH	Rating	Norm. Dim	Ext.
Plana (FF) e=3,2mm	4" - 6"	PTFE		150	ASME B16.29	
Esparragos y Tuercas	NPS	Material	SCH	Rating	Norm. Dim	Ext.
Esparragos		ASTM A-193 Gr.B7			ASME B18.2.1	
Tuercas		ASTM A-194 Gr.2H			ASME B18.2.2	
Válvulas de Bola	4"					
Cuerpo	AISI 316					
Vástago	AISI 316					
Asiento	PTFE + 15% F.V					
Esfera	AISI 316					
Rating	150					
Extremos	NPT ANSI 2.1					
Operación	A Palanca					

Figura: Piping Class de la propuesta de mejora en Muelle 1
Fuente: Propia

COSTO DE LA PROPUESTA



FECHA, 26-11-2024

Nº COTIZACIÓN 00000832

Constructora Castillo y Bono Ltda.

Arteaga Alemparte #8811 - Hualpén

Fono 41 295 7383 - 0

E-Mail: E-Mail: Proyectos@Castillobono.cl

AT. : Sr. **José Sanchez**
Jefe de Infraestructura

REF. : Cotización
INSTALACIÓN RED DE INCENDIO MUELLE 1

EQUIPOS					
Item	Descripción	Unidad	Cantidad	P. unitario	Presio total
1	TUBERIA ACERO CARBONO 6" ASTM A-106 GRADO B	m	29	\$ 183.899	\$ 5.333.071
2	TUBERIA ACERO CARBONO 4" ASTM A-106 GRADO B	m	18	\$ 145.245	\$ 2.614.410
3	FLANGE ACERO CARBONO 6" ASTM A-105 WELD NECK FLANGE	uni	59	\$ 31.250	\$ 1.843.750
4	FLANGE ACERO CARBONO 4" ASTM A-105 WELD NECK FLANGE	uni	3	\$ 15.960	\$ 47.880
5	ESPARRAGOS ASTM A-193 B7 3/4" * 243mm	uni	480	\$ 18.320	\$ 8.793.600
6	ESPARRAGOS ASTM A-193 B7 1" * 260mm	uni	25	\$ 16.460	\$ 411.500
7	LUBRICANTE DE SILICONA ASTM D4048	uni	4	\$ 21.840	\$ 87.360
8	EMPAQUETADURA 4" ASME B16.20	uni	3	\$ 1.800	\$ 5.400
9	EMPAQUETADURA 6" ASME B16.20	uni	59	\$ 2.500	\$ 147.500
10	TEE REDUCCION SOLDABLE BISELADA 6"-4" ASTM A-234 CLASE 150	uni	3	\$ 41.073	\$ 123.219
11	CODO 90° SOLDABLE 4" ASTM A-234 CLASE 150	uni	3	\$ 18.520	\$ 55.560
12	PUNTAS HILO - SOLDADA 4" ASTM A-106 GRADO B	uni	3	\$ 3.990	\$ 11.970
13	VALVULA INOX DE TRES CUERPOS 4" NPT 1000WOG	uni	3	\$ 178.990	\$ 536.970
14	GRIFO TIPO Y CON VALVULA	uni	3	\$ 285.990	\$ 857.970
15	SOPORTE ANTISISMICO UL/FM	uni	90	\$ 20.990	\$ 1.889.100
Subtotal					\$ 22.759.260
IVA					\$ 4.324.259
TOTAL					\$ 27.083.519

Instalación				
Item	Descripción	Cantidad	Presio unitario	Presio total
1	Servicio de instalación y prueba de sistema contra incendios	1	\$ 6.677.920	\$ 6.677.920
Subtotal				\$ 6.677.920
IVA				\$ 1.268.805
Total				\$ 7.946.725

TOTAL EQUIPOS MAS INSTALACION	\$ 35.030.244
--------------------------------------	----------------------

ALCANCES DE LA OFERTA:

- Valor neto : \$ 43.787.805 NETO
- Validez de la oferta : 15 días corridos

ALCANCES DE LA OFERTA

Se considera un Plazo de ejecución de **30 días corridos**
Se consideran materiales según diseño entregado por DP WORLD



Contratista **ra Castillo y Bono Ltda.**
RUT: 76.303.440-2

Figura: Cotización de implementación de la propuesta de mejora en Muelle 1.
Fuente: Castillo y Bono LTDA

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Esta evaluación busca determinar la factibilidad económica de las propuestas de solución a problemas presentes en la red de incendios, producto de la corrosión y sobre carga, contrastando con una proyección futura de costos por mantenciones correctivas con los costos de implementar la propuesta de mejora.

Proyección futura de costos		
Nro	Año	Costo
1	2017	\$ 315.052
2	2018	\$ 1.942.462
3	2019	\$ 4.515.038
4	2020	\$ 5.262.208
5	2021	\$ 4.234.902
6	2022	\$ 4.596.204
7	2023	\$ 3.090.520
8	2024	\$ 5.330.020
9	2025	\$ 5.806.939
10	2026	\$ 6.283.859
11	2027	\$ 6.760.779
12	2028	\$ 7.237.699
13	2029	\$ 7.714.618
14	2030	\$ 8.191.538



Figura: Proyección de costos por mantenciones correctivas

Fuente: Propia

Se tomaron en cuenta todos los datos del análisis de costos de la red de incendios para proyectar los futuros costos que implicarían continuar con el mantenimiento correctivo.

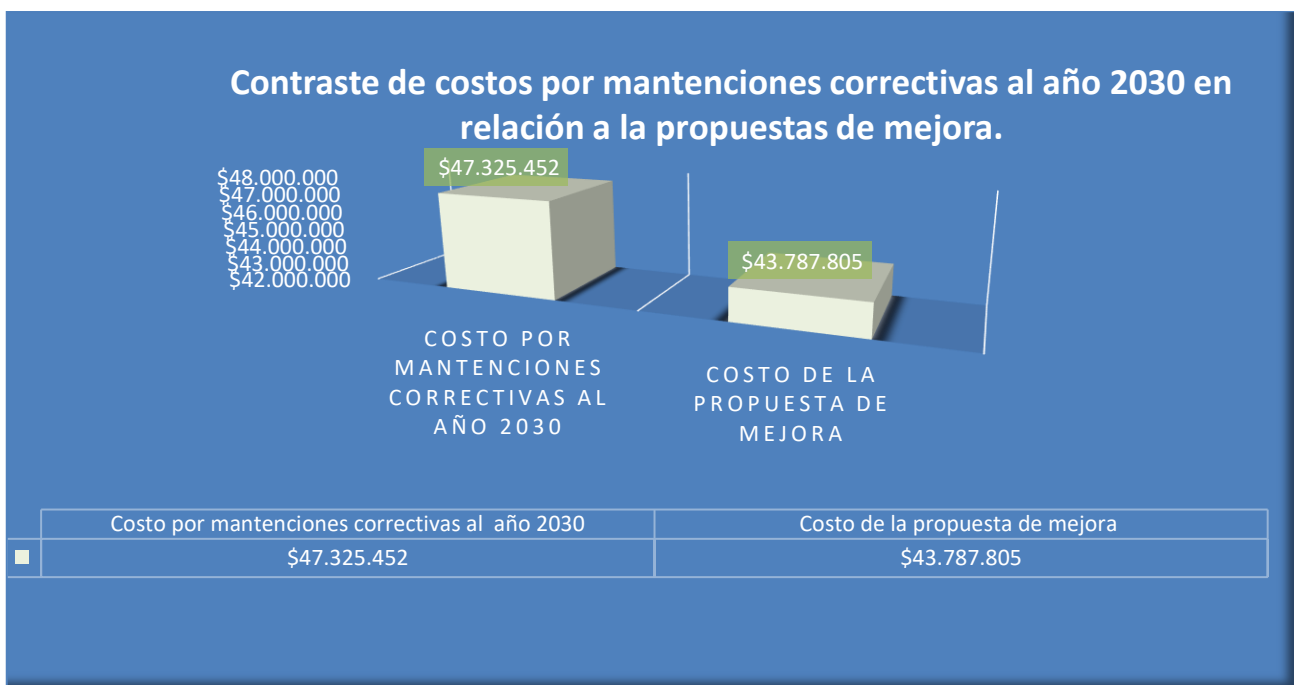


Figura: Relación de costos de propuesta versus proyección de costos por mantenciones correctivas

Fuente: Propia

Se puede concluir del análisis realizado que el costo de la implementación de las propuestas para la solución de fugas en la red de incendios es viable en relación con la proyección de costos por mantenciones correctivas que tendrá la red al año 2030.

CONCLUSIONES

Se puede concluir, según los análisis realizados que las zonas de la red de incendio que presentan una mayor incidencia de fallas se encuentran afectadas principalmente por daños producto de la antigüedad de ésta, considerando que los métodos de mantenimiento aplicados han sido de tipo correctivo lo que ha derivado en las deficiencias totales en cuanto a mecanismos de protección contra la corrosión, los cuales finalizaron su ciclo de vida útil. La materialidad de la red de incendio se ha visto afectada a través del tiempo, debido a que se han utilizado diversos materiales en sus reparaciones, como cañerías de acero, acero galvanizado y PVC también se identificaron tuberías de Rocalit en la red de incendio, presente solo en una de las áreas del Puerto marítimo (Patio triangulo) y debido a su composición (asbesto – cemento) es que las mantenciones realizadas a esta área en específico se han hecho en cumplimiento con lo dispuesto en el Decreto N°656/2000 del MINSAL por lo que en concordancia con lo estipulado en su Art 1 es que cuando se presentan fallas por rotura en estas cañerías, su reparación debe contemplar el reemplazo de este material en las zonas afectadas, el cual generalmente es reemplazado por PVC. Sin embargo, las condiciones en que se encuentra la red de incendio varían según el área que se quiera evaluar, es por esto por lo que al determinar el valor de indicadores de mantenimiento es que estos son positivos, como se pudo observar al obtener una disponibilidad de la red de incendio superior al 90%.

REFERENCIAS

NACE Standard SP0169-2007: Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems, NACE International, Houston, 2007.

Venancio Wilson (2019). Evaluación y análisis de integridad de tubería pitting corrosión en red primaria bajo la norma ASME B31 G Tramo periférica – aduana.

Quiñones Diana (2019). Evaluación de la velocidad de corrosión en el proceso de destilación atmosférica en la Refinería Estatal de Esmeraldas, mediante cupones.

Disponible en: <https://tech.iberojournals.com/index.php/IBEROTECS/article/view/600>

DPWORLD.com

Tractian.com

Fractal.com

ECCA (2011). The Basics of Corrosion. Technical Paper.

Disponible en: <http://www.prepaintedmetal.eu/repository/Annina/Basic%20of%20corrosion%20021211.pdf>

ISP (2021). Protocolo para la toma de muestras de materiales en que exista o se sospecha la presencia de asbesto en los lugares de trabajo.

Disponible en: https://www.ispch.cl/wp-content/uploads/resoluciones/31285_2357-2021.pdf

Camacho Hernando (2012). Importancia de la cadena de suministro en las organizaciones.

Disponible en: <https://www.laccei.org/LACCEI2012-Panama/RefereedPapers/RP200.pdf>

Gómez Carlos (2024). Análisis numérico de la protección de tuberías enterradas mediante láminas de acero ante cargas sobre la superficie del terreno

Disponible en: <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/2828>

Especificaciones de tuberías de PVC.

<https://www.globalriego.cl/pdf/tuberia-vinilit.pdf>

ANEXOS

ANEXO 1: COMPONENTES DE LA PROPUESTA DE MEJORA A LA RED DE INCENDIOS SEGMENTO “Muelle 1 – Embarcadero”

Flange ASTM A105 WELDING NECK 6” y 4”



Figura: Imagen de “Flange ASTM A-105 Weld neck de 6” y 4”

Disponible en: <https://www.attex.cl/producto/flange-w-neck-sch-xs-a-105-negro-clase-150-r-f-4/>

Tuberías ASTM A106 GRADO B 6” y 4”



Figura: Imagen de “Tuberías ASTM A-106 Grado B de 6” y 4”

Disponible en: <https://www.valvulasindustriales.com/producto/caneria-negra-sin-costura-a106-gr-b-sch40/>

Espárragos ASTM A193- B7 de 3/4” y 1”.



Figura: Imagen de “Espárragos ASTM A-193 – B7 de ¾” y 1”

Disponible en: <https://torniper.com/productos/varillas/142-varilla-rosca-astm-a193-b7#>

Silicona ASTM D4048



Figura: Imagen de “Silicona ASTM D4048”

Disponible en: https://www.e-lubritec.com/docs/PROD/IBIOTEC/IB60395/FT_IB_Neolube_Alsi_220_050918.pdf

Empaquetadura B16.29 de 6" y 4"



Figura: Imagen de "Empaquetadura B16.29 de 6" y 4"
Disponible en: <https://www.czm.cl/sellantes-de-fluidos/>

TEE reducción ASTM A-234 6" a 4"



Figura: Imagen de "TEE reducción ASTM A.234 de 6" a 4"
Disponible en: <https://www.attex.cl/fittings/a-234-wpb-sch-std/a-234-wpb-sch-std-tee-reduccion/>

Codo 90° ASTM A-234 de 4"



Figura: Imagen de "Codo de 90° ASTM A-234 DE 4"
Disponible en: <https://www.attex.cl/fittings/a-234-wpb-sch-std/a-234-wpb-sch-std-curva-rl-90o/>

Válvula de bola inox de tres cuerpos 4"



Figura: Imagen de "Válvula de bola inox de tres cuerpos de 4"

Disponible en: <https://fitvalv.cl/producto/valvula-bola-full-inox-3-piezas-sello-ptfe-1000-wog-npt-2025n-genebre/>

Punta de hilo ASTM A-106 Grado B 4"



Figura: Imagen de "Punta de hilo ASTM A-106 Grado B de 4"

Disponible en: <https://www.martinezmichelis.cl/producto-detalle/niples/1235/punta-de-hilo-negra-astm-hilo-bsp-o-npt>

Soporte antisísmico UL/FM



Figura: Imagen de "Soporte antisísmico UL/FM"

Disponible en: <https://www.extintores.cl/caneria-y-fitting/237-soporte-antisismico-ul-fm.html>

Grifo tipo Y con válvulas



SIERRALTA

Expertos en protección contra incendios
Ingeniería-Productos-Instalaciones-Mantenciones

Cuevas 1475
Santiago-Chile
F: 2 2368 9380
www.comercialsierralta.cl

DESCRIPCIÓN

ALTURA	500 MM
CAÑERÍA	4"
SALIDA	2 X 2.1/2"
VALVULA	RECTA
FLANGE	Slip On

FABRICACIÓN Y DISEÑO

Sierralta ha desarrollado línea especial de fabricación en Grifos contra incendios para apoyo a los sistemas de Red Seca o Mixta de Minerías, Bodegas, Petroquímicas, retail, etc. Los procesos de fabricación de los grifos nacionales están sujetos a constantes revisiones de diseño para ir mejorando su funcionalidad y su vida útil una vez instalados. Ofrecemos la alternativa de certificación de éstos por entes acreditados como CESMEC y ANSS.

Accesorios complementarios a la fabricación

Los Grifos Nacionales se diseñan a corde a las necesidades de cada cliente, con instalación de válvulas angular de 45° (aprobación DIN) y 90°, con certificación UL/FM, cañería ASTM, con flange ASNSI, flange DIN o ranurados. Nuestros grifos están probados con la presión necesaria para la alimentación necesaria de los GPM hacia los distintos componentes de los Sistemas.

GRIFO NACIONAL

TIPO "Y"

Válvulas con certificación.



Figura: Imagen de "Grifo tipo Y con válvulas"

Disponible en: <https://sierraltapci.cl/images/productos/descargas/GRIFOS%20BOMBEROS.jpg>

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN – REY BALDUINO DE BÉLGICA

**EVALUACIÓN DE FALLAS DE LA RED CONTRA INCENDIOS EN PUERTO MARÍTIMO
LIRQUÉN PRODUCTO DE CORROSIÓN Y SOBRECARGA.**

Trabajo de Titulación para optar al
Título de
Ingeniero en MANTENIMIENTO
INDUSTRIAL

Alumno: Pedro Aguayo García.

Profesor Guía: Marcelo Quiroz Neira

2025