

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE DE CONCEPCIÓN - REY BALDUINO DE BÉLGICA**

**PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE INTEGRIDAD
MECÁNICA, EQUIPOS ESTÁTICOS, PLANTA DIALUM
CONCEPCIÓN, (ESTANQUES DE PROCESO, SISTEMAS DE
CAÑERÍAS Y DISPOSITIVOS DE ALIVIO).**

Trabajo de Titulación para optar al Título de
Ingeniería en Mantenimiento Industrial,
con Licenciatura en Ingeniería

Alumno:

Juan Pablo Sáez Saavedra

Profesor Guía:

Marcelo Quiroz Neira

2024

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todos aquellos cuya colaboración y apoyo han sido fundamentales para la realización de esta investigación y la culminación de este proyecto. En particular, quiero expresar mi profundo agradecimiento a:

A mis profesores, por su orientación experta, paciencia y sabiduría compartida a lo largo de este arduo camino. Sus conocimientos y consejos han sido el faro que me han guiado en cada paso de este proceso.

A los colaboradores de la Planta Dialum, cuya cooperación y acceso a la información, han sido esenciales para la comprensión profunda de la problemática y la posibilidad de encontrar soluciones prácticas.

A mi familia y mis seres queridos, por su amor incondicional, comprensión y apoyo constante durante las largas jornadas de investigación y redacción. Su aliento ha sido la fuerza motriz que me ha impulsado a superar obstáculos.

A mis compañeros de estudio y amigos, por compartir ideas, proporcionar ayuda y crear un ambiente de camaradería que ha hecho que este proceso sea más enriquecedor y memorable.

A todos aquellos que, de una forma u otra, han contribuido a mi crecimiento académico y personal, creyendo en mi capacidad de alcanzar metas ambiciosas.

Este proyecto es un testimonio de mi compromiso y dedicación, pero también es un tributo a todos ustedes que han sido parte integral de este viaje. Con gratitud sincera, le dedico este logro a todos los que han dejado una huella en mi camino hacia el conocimiento y la realización personal.

RESUMEN

La industria moderna demanda estrategias de mantenimiento que no solo maximicen la vida útil de los equipos, sino que también optimicen la eficiencia operativa y la seguridad. En este contexto, este proyecto presenta un estudio sobre la implementación de un Plan de Mantenimiento Predictivo de Integridad Mecánica para Equipos Estáticos en la Planta Dialum. La investigación aborda los desafíos específicos de la planta, donde la confiabilidad de los equipos estáticos es esencial para la producción y la seguridad.

La Integridad Mecánica de equipos es una filosofía de trabajo que busca garantizar la seguridad y eficiencia de los equipos en diversas industrias. Esto implica diseñar, fabricar, instalar, operar, mantener y reemplazar los equipos de manera adecuada para prevenir fallas, accidentes y riesgos para las personas como para el medio ambiente. Esto se logra estableciendo criterios basados en datos históricos, normas y regulaciones nacionales e internacionales. El objetivo principal de la Integridad Mecánica es asegurar la continuidad del proceso, reducir los impactos causados por fallas operacionales y minimizar los peligros y accidentes.

Se enfoca en garantizar que los equipos estén contruidos con los materiales adecuados, sean instalados, mantenidos y remplazados correctamente, para prevenir fallos y daños al medio ambiente. Este concepto se considera una parte importante de la Gestión de Seguridad en los Procesos. Se aplica a una variedad de equipos, como recipientes a presión, sistemas de tuberías, dispositivos de control, dispositivos de alivio entre otros. La Gestión de la Integridad de Equipos busca identificar, analizar, evaluar y controlar los riesgos para prevenir incidentes que puedan afectar los procesos y promover la seguridad y el rendimiento en la industria.

Mejorando significativamente la confiabilidad operativa, prolongar la vida útil de los equipos y elevar los estándares de seguridad.

Índice

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO 1: OBJETIVOS DEL PROYECTO.....2

1.1. OBJETIVOS 3

1.1.1. Objetivo general 3

1.1.2. Objetivos específicos 3

CAPÍTULO 2: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.....4

2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 5

2.2. JUSTIFICACIÓN 6

2.3. MOTIVACIÓN 7

CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO.....8

3.1. DISCIPLINA OPERACIONAL.....9

3.2. INTEGRIDAD MECÁNICA.....10

3.2.1. Razón de por qué se aplica la integridad mecánica en la industria 11

3.2.2. Por qué algunas plantas no practican los estándares integridad mecánica
12

3.2.3. Razón de por qué no se debe ignorar la integridad mecánica 14

3.3. MANTENIMIENTO 15

3.3.1. Historia del mantenimiento 15

3.3.2. Tipos de mantenimientos 16

3.3.3. Ventajas y desventajas de los principales mantenimientos 22

3.4. DIALUM COMO EMPRESA.....23

3.4.1. Distribución geográfica 24

3.4.2. Planta Dialum Laminated Glass concepción 25

3.4.3. Información de la empresa 26

3.4.4. Organigrama estructural de dialum 26

3.4.5. Distribución de la planta dialum laminated glass 27

3.4.6. Proceso productivo dialum laminated glass 29

3.4.7. Productos elaborados por dialum laminated glass 35

3.5. DESCRIPCIÓN GENERAL DE EQUIPOS A EVALUAR	36
3.5.1. Estanques de procesos.....	36
3.5.2. Sistemas de cañerías.....	37
3.5.3. Dispositivos de alivio.....	38
3.6. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA NORMATIVA A CUMPLIR	39
3.6.1. Norma API 510	39
3.6.2. Norma API 570	40
3.6.3. Norma API 574	41
3.6.4. Norma API 576	42
CAPÍTULO 4: DISEÑO SOLUCIÓN.....	44
4.1. LEVANTAMIENTO DE EQUIPOS EN ESTUDIO.....	45
4.2. FRECUENCIAS DE INSPECCIÓN	45
4.2.1. Recipientes a Presión	46
4.2.2. Sistemas de cañería	47
4.2.3. Dispositivos de alivio.....	49
4.3. REVISIÓN DE LA EXISTENCIA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO ASOCIADO A EQUIPOS ESTÁTICOS.....	51
4.3.1. Descripción de la Situación Actual:	51
4.3.2. Hallazgos y Evidencia:.....	51
4.3.3. Impacto Potencial:.....	51
4.3.4. Recomendaciones:.....	52
4.4. ANÁLISIS DE ESPESORES POR ULTRASONIDO.....	53
4.4.1. Localización de Puntos de Medición de Espesores (TML) para monitoreo de Corrosión Generalizada.	53
4.5. Registro de medición de espesores de PCE	58
4.5.1. Cálculo del espesor de pared requerido	59
4.5.2. Cálculo de Velocidad de corrosión a largo plazo (LT).....	61
4.5.3. Cálculo de vida remante.....	62
4.5.4. Cálculo de presión máxima admisible de trabajo (MAWP).....	63
4.5.5. Porcentaje de corrosión acumulada.....	64
4.5.6. Conclusión y recomendaciones.....	65

4.6. Registro de medición de espesores de cañería.....	66
4.6.1. Cálculo del espesor de pared requerido	68
4.6.2. Cálculo de Velocidad de corrosión a largo plazo (LT)	69
4.6.3. Cálculo de vida remante.....	70
4.6.4. Porcentaje de corrosión acumulada.....	71
4.6.5. Conclusión y recomendaciones.....	72
4.7. Registro del procedimiento para la inspección de dispositivos de alivio de presión	73
4.7.1. Planificación de la Inspección a válvula de alivio	74
4.7.2. Prueba operativa en taller:.....	75
4.7.3. Informe de inspección de la válvula de seguridad	75
4.7.4. Conclusión y recomendaciones.....	77
4.8. EVALUACIÓN ECONÓMICA	77
4.8.1. Objetivos del Plan	77
4.9. Costos del Plan de Mantenimiento Predictivo.	78
4.10. Costos Operativos Anuales	78
4.11. Costos Potenciales por No Implementar el Plan.....	79
4.12. Beneficios estimados.....	80
4.13. cotización por servicio de medición de espesores de una empresa externa	80
4.14. Conclusiones.....	82
4.15. Recomendaciones.....	82
BIBLIOGRAFÍA.....	83

ÍNDICE FIGURAS

Figura 3-1. Historia mantenimiento.	16
---	-----------

Figura 3-3: Logo empresa dialum.	23
Figura 3-4: Frontis dialum Santiago.	24
Figura 3-5: Ubicación geográfica dialum Santiago.....	24
Figura 3-6: Frontis dialum Concepción.	25
Figura 3-7: Ubicación geográfica dialum concepción.....	25
Figura 3-8: Layout planta.	28
Figura 3-9: Zona de carga PVB.	30
Figura 3-10: Zona de Corte (CNC).....	30
Figura 3-11: Zona de pulido.	31
Figura 3-12: Zona de lavado.	31
Figura 3-13: Zona de laminado.....	32
Figura 3-14: Zona de calandra 1.....	32
Figura 3-15: Zona de Autoclave.....	34
Figura 3-16: Conformación del vidrio laminado de seguridad.....	35
Figura 3-17: Especificación del producto	36
Figura 4-18: Puntos de medición de espesores en recipientes.	54
Figura 4-19: Puntos de medición de espesores en envuelta y techo de tanques	55
Figura 4-20: Puntos de medición de espesores en pisos de tanques.	56
Figura 4-21: Puntos de medición de espesores en cañerías	57
Figura 4-22: Registro de medición de espesores de PCE.....	58
Figura 4-23: Formula de Espesor de pared requerido	59
Figura 4-24: Formula de Velocidad de corrosión a largo Plazo.....	61
Figura 4-25: Formula de Velocidad de corrosión a largo Plazo.....	62
Figura 4-26: Formula de presión máxima admisible de trabajo.	63
Figura 4-27: Formula de % de corrosión acumulada.....	64
Figura 4-28: Registro de medición de espesores de cañería	67
Figura 4-29: Formula de Espesor de pared requerido	68
Figura 4-30: Formula de Velocidad de corrosión a largo Plazo.....	69
Figura 4-31: Formula de Velocidad de corrosión a largo Plazo.....	70
Figura 4-33: Formula de % de corrosión acumulada.....	71

Figura 4-35: Registro de frecuencias de inspección de dispositivos de alivio	74
Figura 4-36: Informe de inspección de la válvula de seguridad	76
Figura 4-35: Cotización Empresa Fierro Arquitectos Consultores	81

Índice de tablas

Tabla 3-1. Principales ventajas.	22
Tabla 3-2: Condiciones recomendades de operación.	33
Tabla 4-1: Frecuencia de Inspección de recipientes a presión.	47
Tabla 4-2: Frecuencia de Inspección a sistema de cañería.	48
Tabla 4-2: Frecuencia de Inspección de dispositivo de alivio.....	50

Índice de diagrama

Diagrama 3-1: Estructura empresarial.....	27
Diagrama 3-2: Proceso productivo Dialum Laminated Glass.	29

Índice de gráficos

Gráfico 3-1: Ciclo optimo Auto clave.	33
Gráfico 4-1: Grafico de tendencia de porcentaje de corrosión.	65
Gráfico 4-2: Grafico de tendencia de porcentaje de corrosión.	72

SIGLA Y SIMBOLOGÍA

SIGLAS

API: American Petroleum Institute.

ASME: American Society of Mechanical Engineers.

ISO: Organización Internacional de Normalización

PMP: Plan de Mantenimiento Predictivo

TAG: Etiqueta de identificación que se conecta a un equipo físico o propiedad de una empresa.

PCE: Equipo de contención de procesos.

END: Ensayos no destructivos

PSV: Válvula de seguridad de presión.

MAWP: Presión Máxima de Trabajo Permisible

PSI: libras por pulgada cuadrada.

SIMBOLOGÍA

mm : Milímetros

N/A : No disponible

\$: Signo peso/dólar (monetario).

% : Porcentaje

°C : Grados Celsius

°F : Grados Fahrenheit

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria se enfrenta a una creciente demanda de eficiencia operativa y seguridad en la operación de equipos industriales. Los equipos estáticos, como estanques de almacenamiento, estanques atmosféricos, sistemas de cañerías y válvulas de seguridad, desempeñan un papel crucial en diversas plantas industriales al facilitar procesos esenciales para la producción, conducción y el almacenamiento de productos químicos, petroquímicos y derivados. Garantizar la integridad y el funcionamiento óptimo de estos equipos es esencial para evitar costosas interrupciones en la producción, minimizar el riesgo de fallas catastróficas en una planta y garantizar la seguridad de los trabajadores y el entorno circundante.

En este contexto, la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo ha emergido como una solución efectiva para abordar los desafíos inherentes al mantenimiento tradicional basado en el tiempo o las condiciones predefinidas. El mantenimiento predictivo se basa en la recopilación y análisis de datos en tiempo real para prever posibles fallas y degradaciones en los equipos y sistemas, permitiendo una planificación más eficiente y precisa de las actividades de mantenimiento. Esta aproximación no solo reduce los costos asociados con el mantenimiento y la producción interrumpida, sino que también prolonga la vida útil de los equipos y mejora la seguridad en la planta.

En este proyecto, se presenta un enfoque exhaustivo para el desarrollo e implementación de un Plan de Mantenimiento Predictivo de Integridad Mecánica específicamente diseñado para equipos estáticos como estanques de procesos, estanques atmosféricos, sistemas de cañería y válvulas de seguridad en la planta industrial Dialum Glass concepción. Se explorarán las diferentes etapas del proceso, desde el levantamiento de equipos en estudios hasta la planificación de una intervención de un ensayo no destructivo como el análisis de espesores por ultrasonido, el diagnóstico de este, analizando los beneficios potenciales de esta estrategia de mantenimiento predictivo en términos de eficiencia operativa, reducción de costos y mejora de la seguridad.

En resumen, este proyecto busca brindar una guía integral para el diseño e implementación de un Plan de Mantenimiento Predictivo de Integridad Mecánica en equipos estáticos, con el propósito de optimizar la operación de la planta Dialum, maximizar la vida útil de los equipos y elevar los estándares de seguridad en el entorno industrial.

CAPÍTULO 1: OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

- Generar un plan de mantenimiento predictivo de integridad mecánica, equipos estáticos, planta dialum (estanques de proceso, sistemas de cañerías y dispositivos de alivio).

1.1.2. Objetivos específicos

- Levantamiento de equipos en estudio (estanques de procesos, estanques atmosféricos, sistemas de cañerías y válvulas de seguridad)
- Revisar frecuencias de inspección de acuerdo con la normativa vigente, nacional / internacional (API 510/API 570/ API 574/ API 576).
- Revisar la existencia de plan de mantenimiento predictivo asociado a equipos estáticos.
- Generar una propuesta de plan de mantenimiento predictivo y frecuencias de inspección.
- Realizar un análisis de espesores por ultrasonido a equipos considerados en este proyecto
- Realizar un estudio económico de la propuesta de mantenimiento predictivo a implementar.

CAPÍTULO 2: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La industria moderna enfrenta desafíos significativos en la gestión eficiente y segura de equipos estáticos en plantas industriales, donde la confiabilidad operativa y la integridad mecánica son fundamentales para la producción continua y la seguridad de los trabajadores. La Planta Dialum Laminated Glass concepción no es ajena a estos desafíos, ya que opera en un entorno altamente demandante, donde la falla de un equipo estático puede resultar en costosas interrupciones de producción y de altos riesgos para la seguridad de sus trabajadores como para el entorno que la rodea.

En la Planta Dialum Laminated Glass concepción, los equipos estáticos, como recipientes a presión, estanques de almacenamiento, estanques atmosféricos, sistemas de tuberías y válvulas de seguridad, desempeñan un papel crítico en los procesos productivos. Garantizar su integridad mecánica es esencial para prevenir accidentes, reducir riesgos para la seguridad de los trabajadores y minimizar impactos ambientales. Sin embargo, en la actualidad, nos enfrentamos a varios desafíos y problemas relacionados con la integridad mecánica de estos equipos, lo que pone en riesgo la continuidad de nuestras operaciones y la seguridad en el lugar de trabajo.

Es por esto que surge la necesidad de implementar un enfoque más avanzado y proactivo para el mantenimiento de los equipos estáticos. La implementación de un Plan de Mantenimiento Predictivo de Integridad Mecánica parece ser una solución prometedora para anticipar y prevenir accidentes catastróficos, así como para optimizar los recursos de mantenimiento.

2.2. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto es fundamental para la sostenibilidad y seguridad de nuestras operaciones. Al abordar los problemas identificados en la integridad mecánica de equipos estáticos, no solo reduciremos el riesgo de accidentes y daños ambientales, sino que también optimizaremos nuestros procesos y garantiremos el cumplimiento normativo, lo que beneficiará a la empresa en términos de reputación y rentabilidad a largo plazo.

2.3. MOTIVACIÓN

La motivación para realizar este proyecto se compone por dos factores, siendo el primero el educacional, con el objetivo lograr optar al título de ingeniero en mantenimiento industrial, con licenciatura en ingeniería, para lograr en un futuro prestar una mejor calidad de vida a mi familia, así también para lograr cumplir los sueños y metas propuestas. Por otro lado, existe la motivación educacional, el cual va ligado a la oportunidad de aplicar los conocimientos adquiridos en los casi cinco años de estudio. En este punto cabe destacar la oportunidad que he recibido por parte de la empresa Dialum Laminated Glass, quienes han puesto de su parte para lograr realizar este proyecto, mediante información real y fidedigna de sus procesos y equipos. Finalmente, este factor incluye la constante búsqueda de conocimientos, ya que, contendrá bastante información que será investigada a cabalidad para generar un proyecto.

CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO

3.1. DISCIPLINA OPERACIONAL

La disciplina operacional se refiere a un enfoque estructurado y riguroso en la gestión y ejecución de las operaciones en una organización o empresa. Su objetivo principal es garantizar que todas las actividades operativas se lleven a cabo de manera eficiente, segura, consistente y de acuerdo con los estándares y procedimientos establecidos. Esta disciplina es especialmente importante en industrias donde la seguridad, la calidad y la eficiencia son fundamentales, como la industria manufacturera, la industria química, la aviación, la energía, la minería y otras.

Algunos aspectos clave de la disciplina operacional incluyen:

- **Procedimientos y estándares:** Establecer procedimientos y estándares operativos claros y precisos que describan cómo se deben realizar las tareas y operaciones específicas. Estos procedimientos a menudo se basan en las mejores prácticas y se desarrollan para garantizar la seguridad, la calidad y la eficiencia.
- **Capacitación y entrenamiento:** Proporcionar capacitación adecuada y continua a los empleados para que estén familiarizados con los procedimientos operativos y estén capacitados para llevar a cabo sus tareas de manera segura y eficiente.
- **Supervisión y seguimiento:** Supervisar y controlar las operaciones en tiempo real para asegurarse de que se están siguiendo los procedimientos establecidos. Esto puede incluir la implementación de sistemas de monitoreo y la realización de auditorías periódicas.
- **Cultura de seguridad:** Promover una cultura de seguridad en la organización en la que los empleados estén comprometidos con la seguridad y entiendan la importancia de seguir los procedimientos operativos en todo momento.
- **Mejora continua:** Buscar constantemente formas de mejorar los procesos y procedimientos operativos para aumentar la eficiencia, reducir los riesgos y optimizar el rendimiento general de la organización.
- **Gestión de incidentes:** Desarrollar planes de respuesta a incidentes y protocolos para abordar situaciones de emergencia o fallas en las operaciones de manera efectiva y segura.
- **Cumplimiento normativo:** Asegurarse de que todas las operaciones cumplan con las regulaciones y normativas aplicables en la industria y en la región geográfica en la que opera la organización.

La disciplina operacional es esencial para garantizar la seguridad de los trabajadores, la calidad del producto o servicio, la eficiencia de las operaciones y la reputación de la empresa. Ayuda a prevenir incidentes, minimizar riesgos y garantizar un funcionamiento suave y confiable de la organización.

3.2. INTEGRIDAD MECÁNICA

La integridad mecánica se refiere a la capacidad de un componente, estructura o sistema para mantener su forma, resistencia y funcionalidad bajo diferentes condiciones de carga, uso y exposición a fuerzas o elementos externos. En términos simples, se trata de la capacidad de un objeto o sistema para estabilizar en buen estado y funcionar correctamente a lo largo del tiempo, sin sufrir fallas o deterioro que pueden dañar su rendimiento o seguridad.

La integridad mecánica es esencial en una amplia gama de campos, como la ingeniería, la construcción, la industria manufacturera, la aviación, la industria automotriz y muchas otras áreas donde se utilizan componentes y estructuras mecánicas. La falta de integridad mecánica puede conducir a fallas, deformaciones, fracturas o colapsos que pueden tener consecuencias graves, incluyendo, daños al medio ambiente, daños a la propiedad, lesiones o incluso pérdidas humanas.

Para garantizar la integridad mecánica, se realizan análisis de diseño, pruebas de materiales, simulaciones computacionales, inspección regular, mantenimiento preventivo y otras medidas para asegurarse de que los componentes y sistemas mecánicos cumplan con los estándares de seguridad y rendimiento establecidos.

La integridad mecánica de los equipos abarca una filosofía operativa con el propósito de asegurar que todo tipo de equipamiento (ya sea de proceso, eléctrico, de instrumentación y control, seguridad, entre otros) sea concebido, construido, instalado, operado, mantenido y/o reemplazado de manera oportuna, con el fin de prevenir fallos, incidentes o riesgos para las personas, las instalaciones y el entorno. Esta filosofía establece criterios basados en datos históricos, estándares y regulaciones tanto a nivel nacional como internacional. La integridad mecánica tiene como objetivo garantizar la continuidad del proceso, mitigar los efectos de fallos operativos y reducir los peligros y accidentes asociados.

La integridad mecánica engloba el proceso de asegurarse de que los equipos se fabriquen con los materiales adecuados, se instalen de manera correcta, se mantengan

apropiadamente y se reemplacen cuando sea necesario, con el propósito de prevenir fallos y evitar impactos ambientales. También puede describirse como el manejo crítico de los equipos de proceso para garantizar su diseño e instalación adecuados, así como la correcta ejecución de su operación y mantenimiento. Esto se aplica a diversos equipos como:

- Recipientes a presión
- Estanques de almacenamiento
- Estanques atmosféricos
- Sistemas de tuberías y sus componentes asociados (válvulas, conexiones, etc.)
- Dispositivos de alivio
- Sistemas de paradas de emergencia y control (incluyendo monitoreo, sensores, alarmas e interbloqueos)
- Bombas
- Sopladores y compresores dentro del mismo sistema.

En todas las industrias, surge constantemente la necesidad apremiante de mejorar la seguridad, reducir el riesgo y, por ende, aumentar la eficiencia y confiabilidad en las operaciones. La gestión de la integridad de los equipos en los procesos implica la metodológica aplicación de sistemas de gestión y control, de tal manera que todos los riesgos actuales y potenciales sean identificados, analizados, evaluados y controlados, con el propósito de prevenir cualquier incidente que pueda afectar los procesos.

La integridad mecánica es solo uno de los catorce elementos incorporados en el estándar OSHA 1910.119 - Gestión de la Seguridad en los Procesos (GSP).

3.2.1. Razón de por qué se aplica la integridad mecánica en la industria

La integridad mecánica es esencial en las plantas e industrias por varias razones fundamentales:

- **Seguridad:** La principal preocupación en cualquier planta industrial es la seguridad de los trabajadores y del entorno circundante. La falta de integridad mecánica puede llevar a fallas catastróficas que causen accidentes graves, lesiones o incluso pérdidas de vidas humanas. Garantizar la integridad mecánica de equipos y sistemas es fundamental para prevenir accidentes.

- **Fiabilidad operativa:** Las interrupciones no planificadas en la producción pueden ser costosas y perjudiciales para la eficiencia de una planta o industria. La integridad mecánica adecuada asegura que los equipos y sistemas funcionen de manera confiable y que no se produzcan paros no programados debido a fallas mecánicas.
- **Eficiencia y productividad:** Los equipos que funcionan correctamente y de manera segura permiten una producción continua y eficiente. La falta de integridad mecánica puede causar retrasos en la producción, lo que a su vez puede resultar en pérdida de ingresos y mayores costos de operación.
- **Protección del medio ambiente:** En muchas industrias, la falta de integridad mecánica puede dar lugar a derrames de sustancias peligrosas o contaminantes en el medio ambiente. Esto puede tener graves consecuencias tanto para el entorno como para la reputación de la empresa. La integridad mecánica adecuada es esencial para prevenir la liberación no deseada de sustancias peligrosas.
- **Cumplimiento normativo:** En muchas jurisdicciones, existen regulaciones y normativas que exigen que las plantas e industrias mantengan la integridad mecánica de sus equipos y sistemas. El incumplimiento de estas regulaciones puede dar lugar a sanciones legales y multas.
- **Reducción de costos a largo plazo:** Si se mantiene adecuadamente la integridad mecánica de los equipos y sistemas, se pueden evitar costos significativos relacionados con reparaciones costosas, reemplazos prematuros y pérdida de producción. Invertir en la integridad mecánica puede ahorrar dinero a largo plazo.

Por todas estas razones, la integridad mecánica es esencial en las plantas e industrias para garantizar la seguridad, la eficiencia operativa, la protección del medio ambiente y el cumplimiento de las regulaciones. Además, contribuye a la rentabilidad a largo plazo y a la reputación de la empresa en la industria.

3.2.2. Por qué algunas plantas no practican los estándares integridad mecánica

Existen diversas razones por las cuales algunas plantas o industrias pueden no cumplir adecuadamente con la integridad mecánica, aunque es importante destacar que

estas razones no justifican ni excusan la falta de cumplimiento. Algunas de las posibles razones incluyen:

- **Falta de conciencia:** Algunas empresas pueden no estar plenamente conscientes de la importancia de la integridad mecánica y de las posibles consecuencias de no cumplir con ella. La educación y la concienciación sobre este tema son fundamentales para abordar esta falta de cumplimiento.
- **Presión económica:** En algunos casos, las empresas pueden estar bajo una presión económica extrema para reducir costos y maximizar ganancias. Esto puede llevar a decisiones a corto plazo que descuiden la integridad mecánica a favor de la eficiencia o la rentabilidad inmediata.
- **Falta de recursos:** Algunas empresas pueden carecer de los recursos financieros o técnicos necesarios para mantener y garantizar la integridad mecánica de sus equipos y sistemas. Esto puede deberse a limitaciones presupuestarias o a la falta de capacitación y conocimiento técnico.
- **Negligencia:** En algunos casos, la falta de cumplimiento de la integridad mecánica puede deberse a la negligencia por parte de la dirección de la empresa o del personal encargado de la operación y el mantenimiento. La falta de compromiso con la seguridad y la calidad puede ser un problema.
- **Falta de regulación o cumplimiento débil:** En algunas regiones o países, la regulación y el cumplimiento de las normas pueden ser insuficientes, lo que puede llevar a un descuido de la integridad mecánica por parte de algunas empresas.
- **Corto plazo vs. largo plazo:** Algunas empresas pueden centrarse excesivamente en objetivos a corto plazo y pueden no tener una visión a largo plazo de los riesgos y costos asociados con la falta de integridad mecánica. Esto puede llevar a un enfoque de "arreglarlo cuando se rompa" en lugar de una estrategia de mantenimiento preventivo.

Es importante destacar que, independientemente de las razones, la falta de cumplimiento de la integridad mecánica puede tener consecuencias graves y peligrosas. La seguridad de los trabajadores, la protección del medio ambiente y la viabilidad a largo plazo de una empresa pueden estar en juego. Por lo tanto, es crucial promover la conciencia, la responsabilidad y el cumplimiento de la integridad mecánica en todas las plantas e industrias.

3.2.3. Razón de por qué no se debe ignorar la integridad mecánica

No cumplir con la integridad mecánica en una planta o industria es altamente desaconsejable y puede tener consecuencias graves y potencialmente catastróficas. Aquí hay algunas razones por las cuales no se debe ignorar o descuidar la integridad mecánica:

- **Seguridad:** Ignorar la integridad mecánica puede llevar a fallas inesperadas en equipos y sistemas, lo que aumenta significativamente el riesgo de accidentes y lesiones graves, e incluso puede poner en peligro la vida de los trabajadores y personas cercanas.
- **Daños a la propiedad:** La falta de integridad mecánica puede resultar en daños a la propiedad, incluidos equipos costosos y la infraestructura de la planta. Las reparaciones o reemplazos pueden ser extremadamente costosos y causar interrupciones en la producción.
- **Pérdida de producción:** Las fallas mecánicas pueden causar paros no programados en la producción, lo que resulta en la pérdida de ingresos y la insatisfacción de los clientes. Esto puede dañar la competitividad y la reputación de la empresa.
- **Impacto ambiental:** Si no se mantiene la integridad mecánica, existe un mayor riesgo de derrames de sustancias peligrosas o contaminantes en el medio ambiente, lo que puede tener un impacto negativo en el ecosistema vecino y dar lugar a sanciones regulatorias y daños a la reputación.
- **Cumplimiento normativo:** Muchas industrias están sujetas a regulaciones y normativas estrictas que exigen el mantenimiento de la integridad mecánica. No cumplir con estas regulaciones puede resultar en sanciones legales, multas y la posibilidad de que se cierre la operación.
- **Pérdida de empleo:** En última instancia, el incumplimiento de la integridad mecánica puede llevar a la pérdida de empleos si una empresa enfrenta dificultades financieras o cierre debido a problemas relacionados con la seguridad y la integridad.

Por estas razones el no cumplir con la integridad mecánica no solo es peligroso desde el punto de vista de la seguridad y el medio ambiente, sino que también puede tener graves implicaciones financieras y legales. Es esencial que las empresas e industrias prioricen y mantengan adecuadamente la integridad mecánica como parte integral de sus operaciones y responsabilidades.

3.3. MANTENIMIENTO

“El mantenimiento es un proceso que tiene como misión lograr los niveles establecidos de disponibilidad para las funciones de la instalación en su contexto operativo, valiéndose de talentos humanos, recursos, activos, controles y mecanismos de gestión” (Manual de mantenimiento, Capítulo 1).

Como bien se explica en la cita antes mencionada, el mantenimiento es un proceso involucrado dentro de toda industria, debido a que es el encargado de mantener en las mejores condiciones los equipos y máquinas involucrados en los procesos productivos. Pero no solo es arreglar un equipo, sino que es el estudio de los factores que afectan los procesos y a su vez buscar la forma de reducir el impacto que estos puedan provocar sobre los equipos, máquinas, infraestructura y capital humano que están comprometidos en los procesos productivos de las diversas industrias.

3.3.1. Historia del mantenimiento

El mantenimiento nace en la primera revolución industrial (1870), en esa época el mantenimiento no existía como lo conocemos hoy. Esto se debe a que en ese tiempo las máquinas eran utilizadas hasta que estas fallaran, lo cual generaba grandes gastos en reparaciones, además de perjudicar la producción debido a las detenciones no programadas. La segunda revolución industrial se da producto de la carrera armamentista que existía en el mundo (segunda guerra mundial), producto de la innovación tecnológica, en ese momento se crean acciones preventivas, con las cuales se intenta alargar la vida útil de las maquinarias utilizadas en la segunda guerra mundial. Estas acciones eran sustentadas bajo el postulado de que, a mayor edad de los equipos, la probabilidad de fallas aumenta, por lo tanto, es necesario intervenir los equipos cambiando elementos que en algún momento estén deteriorados o el fabricante indique. El concepto de mantenimiento se comenzó a utilizar en la industria en la década del 1950, post segunda guerra mundial. La tercera revolución industrial transcurrió a principio de los años 80, donde el mantenimiento se vuelca al análisis de causas y efectos que sufren los equipos producto de diversas fallas. En este punto nace el mantenimiento predictivo, producto de que en esta época se comienza a utilizar tecnología en los procesos. Un ejemplo de esto son los sensores de temperatura, análisis de vibraciones y tecnología de ultrasonidos o rayos x. Por último, se encuentra la cuarta revolución industrial, la cual comienza en la

década del 1990. En la cuarta revolución industrial se postula la idea de que una organización debe buscar el concepto de calidad total, el cual va anclando tanto a los procesos productivos y al mantenimiento. Buscando primeramente hacer partícipe a todos los miembros de la organización, además de buscar la máxima disponibilidad posible de los equipos, reduciendo al máximo los costos asociados a pérdidas de producción y mantenimientos no programados. En la cuarta revolución industrial nace el mantenimiento proactivo, el cual, si bien es parecido al predictivo, este busca las causas asociadas y su corrección para no volver a producirlas o reducir sus efectos al mínimo costo posible.

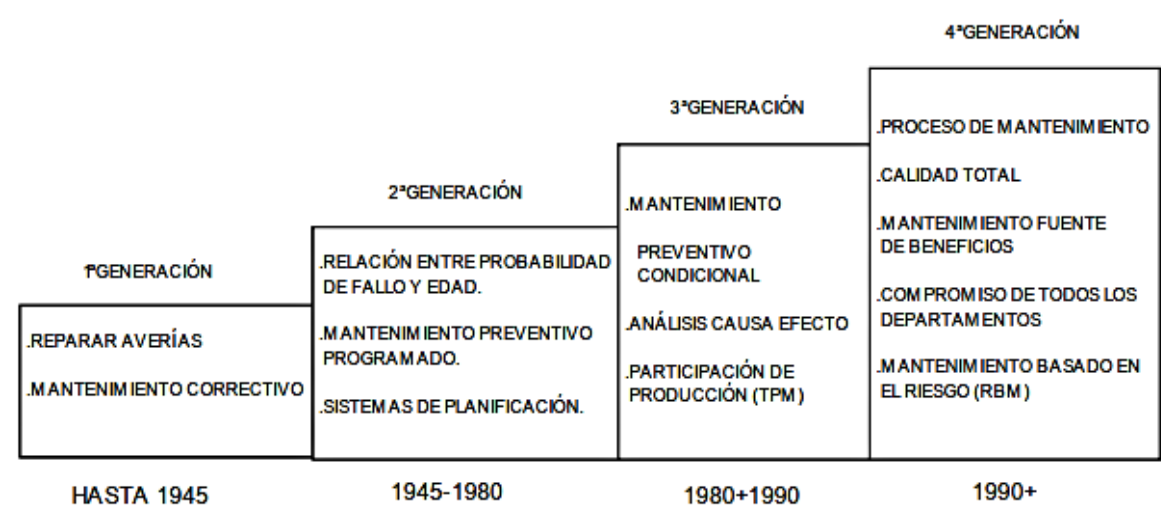


Figura 3-1. Historia mantenimiento.
Fuente: Técnicas del mantenimiento, capítulo 1.

3.3.2. Tipos de mantenimientos

En el mundo industrial existen varios tipos de mantenimiento, los cuales dependiendo de la literatura o la región en que uno se encuentre pueden ir variando sus nombres. Es por esto que a continuación se mencionarán algunos de los mantenimientos existentes en la literatura del autor Alejandro Pistarelli. Cabe destacar que todos los tipos de mantenimientos poseen el mismo fin, el cual es restablecer el estado y configuración inicial de los equipos.

3.3.2.1. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo es una actividad realizada para corregir o reparar un problema o falla en un equipo, sistema o proceso, con el objetivo de restaurar su funcionamiento normal. Este tipo de mantenimiento se lleva a cabo después de que ha ocurrido una avería, defecto o disfunción, y su propósito principal es eliminar la causa raíz del problema para que el equipo vuelva a operar de manera eficiente y segura.

El mantenimiento correctivo puede involucrar una amplia gama de acciones, desde reparaciones menores hasta reemplazo de componentes importantes. Generalmente, se realiza siguiendo un enfoque reactivo, es decir, se activa en respuesta a una situación problemática. Sin embargo, en algunos casos, es posible planificar cierto mantenimiento correctivo anticipándose a fallas predecibles.

A pesar de su naturaleza reactiva, es importante considerar que el mantenimiento correctivo puede ser costoso en términos de tiempo y recursos, especialmente si se realizan reparaciones extensas o se deja que los problemas persistan hasta niveles críticos. Por esta razón, muchas organizaciones buscan combinar el mantenimiento correctivo con otras estrategias de mantenimiento, como el mantenimiento preventivo (realizado de manera programada para prevenir fallas) y el mantenimiento predictivo (basado en datos y análisis para prever problemas antes de que ocurran).

3.3.2.2. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo es una estrategia de gestión que implica la realización regular y planificada de tareas de mantenimiento en equipos, sistemas o instalaciones antes de que se presenten problemas o fallas. El objetivo principal del mantenimiento preventivo es prevenir o minimizar la probabilidad de fallas y asegurar que los activos se mantengan en condiciones óptimas de funcionamiento.

En lugar de esperar a que comiencen, el mantenimiento preventivo se basa en un enfoque proactivo, donde se establece intervalos de tiempo específicos o ciertos umbrales de uso para llevar a cabo inspección, limpiezas, ajustes y reemplazos de componentes según sea necesario. Las actividades de mantenimiento preventivo pueden incluir inspección visual, lubricación, calibración, pruebas de rendimiento, limpieza y reemplazo programado de piezas desgastadas. Estas tareas se realizan de manera regular y se basan en el historial de funcionamiento de los equipos, las recomendaciones del fabricante y la experiencia acumulada.

Este enfoque tiene varias ventajas, como:

- **Reducción de costos:** Al anticipar y abordar problemas antes de que se conviertan en fallas mayores, se evitan costosas reparaciones y tiempos de inactividad prolongados.
- **Mayor vida útil:** Al mantener los equipos y sistemas en condiciones óptimas, se extiende su vida útil, lo que ahorra dinero a largo plazo al retrasar la necesidad de reemplazarlos.
- **Mejora del rendimiento:** El mantenimiento preventivo asegura que los activos funcionen a su máxima capacidad, lo que puede llevar a cabo un rendimiento mejorado y más consistente.
- **Seguridad:** Mantener los equipos en buenas condiciones también contribuye a la seguridad de los trabajadores y del entorno en general al reducir el riesgo de caídas imprevistas.
- **Planificación eficiente:** Al tener un programa de mantenimiento preventivo, las empresas pueden planificar mejor las operaciones, lo que puede conducir a ahorros en energía y asignar recursos de manera más eficiente, minimizando el impacto en la operación normal.
- **Cumplimiento normativo:** En algunos casos, ciertas condiciones y estándares requieren el cumplimiento de programas de mantenimiento preventivo para garantizar la seguridad y la calidad.

3.3.2.3. Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo es una estrategia de gestión de mantenimiento que utiliza datos y análisis para prevenir cuándo es probable que ocurran problemas o fallas en equipos, sistemas o procesos. A diferencia del mantenimiento preventivo, que se basa en intervalos de tiempo o umbrales de uso preestablecidos, el mantenimiento predictivo se basa en la monitorización continua de las condiciones de operación y el rendimiento para identificar patrones y señales de posibles problemas futuros.

Para implementar el mantenimiento predictivo involucra la recopilación y análisis de datos en tiempo real o periódicamente para detectar patrones, tendencias y anomalías que puedan indicar problemas inminentes. Esto se logra utilizando tecnologías como sensores, dispositivos de monitoreo, análisis de datos avanzados y aprendizaje automático (machine learning) para identificar señales tempranas de deterioro, desgaste o mal funcionamiento.

Algunos ejemplos de cómo se puede aplicar el mantenimiento predictivo incluyen:

- **Monitoreo de vibraciones:** Se utilizan sensores para medir las vibraciones en maquinaria y equipos. Los cambios en los patrones de vibración pueden indicar desequilibrios, desalineaciones u otros problemas mecánicos que podrían llevar a una falla.
- **Análisis de aceite:** Se analizan muestras de aceite en máquinas para detectar partículas metálicas, contaminantes o cambios en la viscosidad que podrían indicar un desgaste inusual.
- **Monitoreo de temperatura:** La temperatura puede indicar problemas de sobrecalentamiento en equipos eléctricos o mecánicos.
- **Análisis de datos de procesos:** En industriales, se analizan los datos de variables clave para detectar cambios en los patrones de funcionamiento que podrían señalar problemas inminentes.
- **Uso de algoritmos de aprendizaje automático:** Los algoritmos pueden identificar patrones complejos en los datos y predecir cuándo es probable que prevenga una falla.

Los beneficios del mantenimiento predictivo incluyen:

- **Reducción de costes:** Al prever las fallas con antelación, se pueden evitar costosos tiempos de inactividad y reparaciones.
- **Optimización del tiempo de actividad:** Al evitar interrupciones no planificadas, se aumenta la disponibilidad y la productividad de los equipos.
- **Aumento de la vida útil del equipo:** La detección temprana y el abordaje de problemas pueden prolongar la vida útil de los activos.
- **Mayor seguridad:** Al prevenir fallas, se reduce el riesgo de accidentes relacionados con equipos defectuosos.

En resumen, el mantenimiento predictivo es una técnica avanzada que busca optimizar la gestión de activos industriales al predecir y prevenir problemas antes de que se conviertan en fallas costosas.

3.3.2.4. Inspección Basada en Riesgo-IBR (Risk-Based Inspection- RBI).

La inspección basada en riesgos (IBR) es una metodología utilizada en la gestión de mantenimiento y la seguridad industrial que se centra en la identificación y priorización de actividades de inspección y mantenimiento en función del nivel de riesgo asociado con los equipos, sistemas o procesos en una instalación. El objetivo principal de la IBR es asignar recursos de manera más eficiente al concentrarse en áreas de mayor riesgo, reduciendo así las posibilidades de fallas catastróficas y maximizando la seguridad y la confiabilidad operativa.

La IBR se basa en la evaluación sistemática de los riesgos y considera factores como la probabilidad de falla, el impacto potencial de la falla en la seguridad, el medio ambiente y la operación, así como la capacidad de detectar el deterioro antes de que cause un problema grave. A partir de esta evaluación, se determinan los niveles de riesgo asociados con diferentes componentes y se priorizan las actividades de inspección y mantenimiento en función de esos niveles de riesgo.

Los pasos clave en la implementación de la inspección basada en riesgos incluyen:

- **Identificación de activos críticos:** Identificar los equipos, sistemas o procesos que son críticos para la operación y que podrían tener un impacto significativo en caso de falla.
- **Evaluación de riesgos:** Evaluar los riesgos asociados con cada activo crítico, considerando factores como la probabilidad de falla, las consecuencias de la falla y la capacidad de detección temprana.
- **Priorización:** Clasificar los activos críticos según su nivel de riesgo, identificando aquellos que requieren una mayor atención en términos de inspección y mantenimiento.
- **Planificación de actividades:** Desarrollar planes detallados de inspección y mantenimiento para los activos críticos de mayor riesgo, incluyendo la frecuencia de las actividades y los métodos de inspección adecuados.
- **Seguimiento y ajuste:** Monitorear y evaluar continuamente los niveles de riesgo y ajustar los planes de inspección y mantenimiento según sea necesario.

Los beneficios de la inspección basada en riesgos incluyen:

- **Uso eficiente de recursos:** Se enfocan recursos en áreas de mayor riesgo, maximizando el impacto de las actividades de mantenimiento.
- **Reducción de fallas críticas:** Al identificar y abordar activos de alto riesgo, se minimiza la posibilidad de fallas catastróficas.
- **Mejora de la seguridad:** La IBR ayuda a identificar y mitigar riesgos que podrían afectar la seguridad de los trabajadores y del entorno.
- **Mejora de la confiabilidad:** Al abordar áreas de alto riesgo, se mejora la confiabilidad operativa y se reduce el tiempo de inactividad no planificado.

En resumen, la inspección basada en riesgos es una metodología importante para la gestión efectiva del mantenimiento y la seguridad industrial, al permitir a las organizaciones centrarse en las áreas que presentan los mayores riesgos y que requieren una atención más inmediata.

3.3.3. Ventajas y desventajas de los principales mantenimientos

A continuación, se presentan dos tablas comparativas con las principales ventajas y desventajas de los cuatros tipos de mantenimientos más conocidos en la industria.

Principales ventajas				
Ítem	Tipos de Mantenimientos			
	Correctivo	Preventivo	Predictivo	Proactivo
No requiere base técnica ni elevada capacidad de análisis	x	-	-	-
Reduce la probabilidad de detenciones no programadas	-	x	x	x
No requiere capacitación del personal en materias de prevención	x	-	-	-
Reduce el MTTR	-	x	x	x
Su ejecución no interrumpe el funcionamiento de los procesos (equipos)	-	-	x	x
Mejora el conocimiento y control sobre el estado de los equipos	-	x	x	x
Su utilización reduce la probabilidad de accidentes a terceros	-	x	x	x
Analiza la causa raíz del problema que puede desencadenar un fallo	-	-	-	x
Puede utilizar la totalidad de la vida útil de los equipos	x	-	-	-
Posee un personal capacitado, lo que aumenta la vida útil de los equipos	-	x	x	x
Reduce costos de mantenimiento a largo plazo	-	x	x	x
Aumenta el MTBF	-	x	x	x

Tabla 3-1. Principales ventajas.

Fuente: Elaboración propia.

3.4. DIALUM COMO EMPRESA

Dialum S.A. es una empresa que nace en la ciudad de Talcahuano, Chile en el año 1987. En un principio dedicada a la distribución de cristales y aluminio en la zona sur del país. Doce años más tarde se instala en la ciudad de Santiago con nuevas instalaciones dispuestas a los procesos de transformación de los cristales. Cabe destacar que Dialum es un conglomerado de diversas empresas, siendo Dialum Laminated Glass la encargada de realizar la elaboración de cristales laminados.

Hoy Dialum Laminated Glass posee dos plantas productivas, las cuales se ubican en Santiago y Concepción. La empresa Dialum Laminated Glass es pionera en la Industria de laminado de cristales en Chile, así también en América latina se posiciona como una de las empresas más vanguardistas a la hora de aplicar tecnologías en sus procesos productivos, esto se debe a que posee la capacidad de fabricar cristales a prueba de balas, a prueba de fuego, cristales curvos y cristalería inmobiliaria (terrazas de cristales).

El presente proyecto de título está enfocado a la elaboración de una mejora al plan de mantenimiento predictivo que posee la planta ubicada en Concepción.



Figura 3-3: Logo empresa dialum.

Fuente: www.dialum.com.

3.4.1. Distribución geográfica

La casa matriz de Dialum S.A. se ubica en panamericano norte 18600-Lampa en la Región Metropolitana de Chile desde el año 2005, y cuenta hasta ahora con más 20000 mts² construidos.

La situación actual de la casa matriz es totalmente distinta a la sucursal que se encuentra en Concepción debido a la cantidad de años que lleva en funcionamiento y la envergadura de esta planta, es debido a eso que cuenta con un gran equipo entorno al mantenimiento de las instalaciones.



Figura 3-4: Frontis dialum Santiago.

Fuente: www.dialum.com

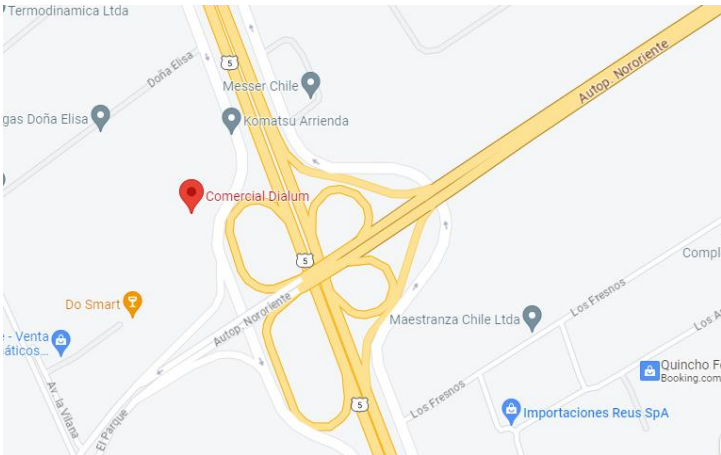


Figura 3-5: Ubicación geográfica dialum Santiago.

Fuente: Google Maps.

3.4.2. Planta Dialum Laminated Glass concepción

La planta de Dialum Laminated Glass en Concepción está ubicada en Paicaví 3265. A modo de referencia se encuentra al costado de la planta de revisión técnica y frente a la Universidad Católica de la Santísima Concepción.



Figura 3-6: Frontis dialum Concepción.
Fuente: www.dialum.com.

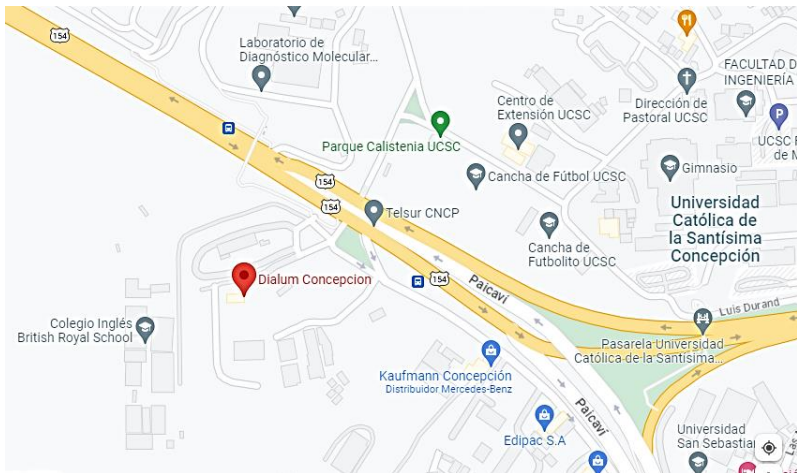


Figura 3-7: Ubicación geográfica dialum concepción.
Fuente: www.dialum.com.

3.4.3. Información de la empresa

La planta de Concepción tiene tres años de funcionamiento, esta fue fabricada para elaborar solo productos de exportación y posee destinos como Estados Unidos, Canadá y Argentina. Algunos de los productos fabricados en la planta de concepción son:

- Cristales antibalas.
- Termo paneles.
- Cristales acústicos.
- Entre otros.

Cabe destacar que la planta Dialum Laminated Glass de Concepción, además de elaborar la demanda de sus clientes, es utilizada como auxiliar en caso de que una empresa del conglomerado Dialum no pueda cumplir con la demanda de sus productos.

Los procesos de exportación desde concepción se realizan entre dos y tres veces a la semana.

La planta ubicada en concepción hoy en día posee una producción a máxima marcha de 175 toneladas de cristales mensuales. Esto avaluado en 2500 USD por tonelada de cristal.

3.4.4. Organigrama estructural de dialum

Dialum Laminated Glass Concepción posee una estructura empresarial acorde al tamaño de la planta, por lo que la planta es administrada y está bajo la dirección del gerente de producción. Este gerente es asesorado por un asesor técnico, el cual visita la planta cada dos meses, o en caso de ser requerido por el gerente de producción de la planta.

En segunda instancia se encuentra el subgerente de la planta, el cual tiene a cargo tanto las áreas productivas como las áreas de, calidad y mantenimiento.

A continuación, se muestra el organigrama empresarial de Dialum Laminated Glass Concepción:

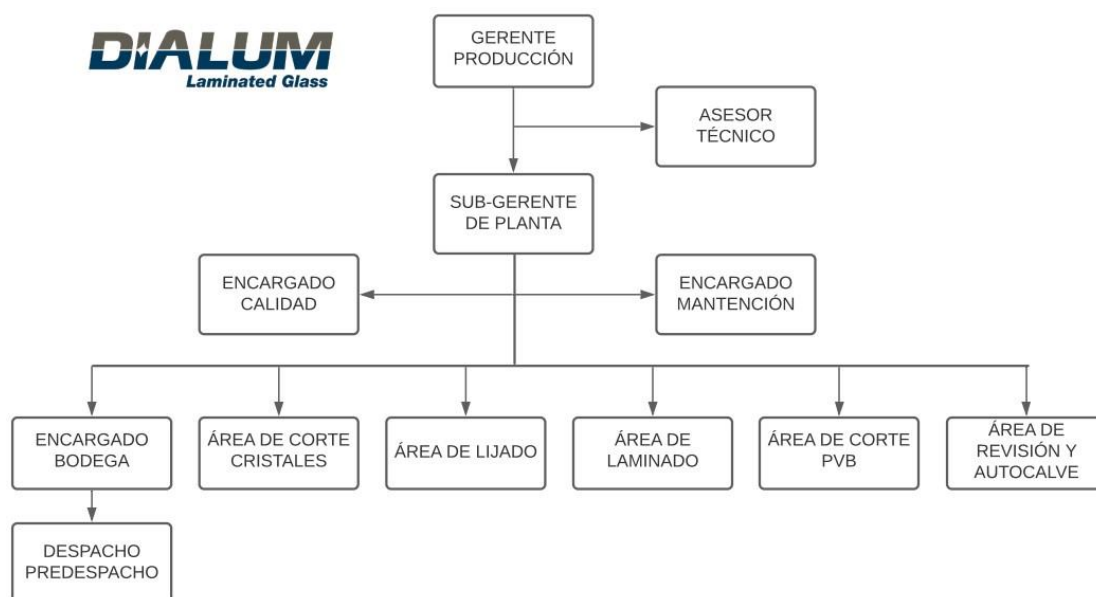


Diagrama 3-1: Estructura empresarial.

Fuente: Biblioteca Dialum Laminated Glass.

3.4.5. Distribución de la planta dialum laminated glass

La planta de Dialum Laminated Glass Concepción, posee un piso planta compartido con la bodega de productos. Físicamente existen tres zonas productivas, las cuales pueden ser apreciadas en la figura 3-8. Algunos de los equipos o áreas existentes en la planta son:

- **Cuarto de laminado:** Edificio de dos pisos, teniendo en el piso superior el almacén y rodillos de PVB, el cual cae a medida que avanzan los vidrios. En el piso inferior existe una mesa de rodillos que atraviesa todo el edificio. En ella se transportan los vidrios que luego se convertirán en cristales laminados.
- **Calandra:** Es un equipo mecánico compuesto de rodillos que ejercen presión mecánica sobre los vidrios, con el fin de expulsar las burbujas de aire en los cristales laminados. Los rodillos se encuentran a cada extremo del equipo. Además, existe un horno en el medio del equipo, el cual está encargado de elevar la temperatura del PVB para que este se adhiera a los vidrios generando el cristal laminado.
- **Autoclave:** El auto clave es un equipo de forma cilíndrica, en el cual finaliza el proceso de laminado como tal. Al interior de este equipo la temperatura y presión aumentan, para buscar que la lámina de PVB logre fluir y adherirse a los vidrios

de manera que formen una estructura libre de burbujas de aire. El proceso asociado al auto clave en Dialum Laminated Glass tiene una duración no menor a cuatro horas. La carga del auto clave se realiza mediante atriles que transportan los productos que vienen desde la calandra.

- **Lavadora:** Como su nombre lo precede, la lavadora se utiliza para limpiar los vidrios antes de que entren a la sala de laminado y también a la salida de la autoclave, para su posterior revisión.
- **Pulidora:** Es un equipo utilizado para quitar las imperfecciones existentes en la superficie de los vidrios en su llegada a la planta de Dialum Laminated Glass en Concepción. También esta puede ser usada para pulir los bordes y así evitar accidentes y deformaciones producto de esquirlas o puntas sobresalientes.

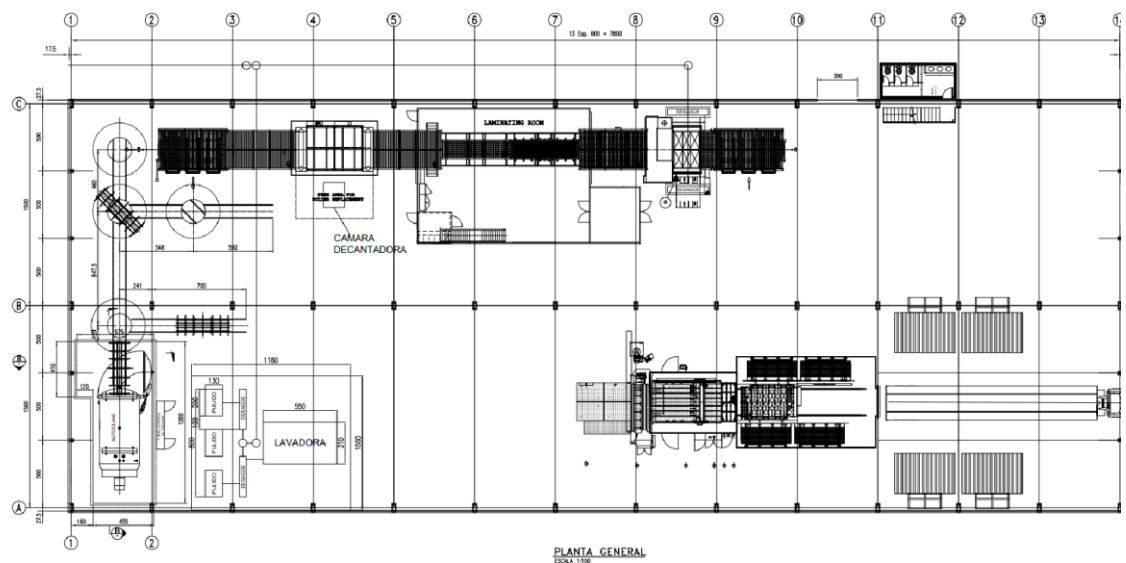


Figura 3-8: Layout planta.

Fuente: Biblioteca dialum laminated glass.

3.4.6. Proceso productivo dialum laminated glass

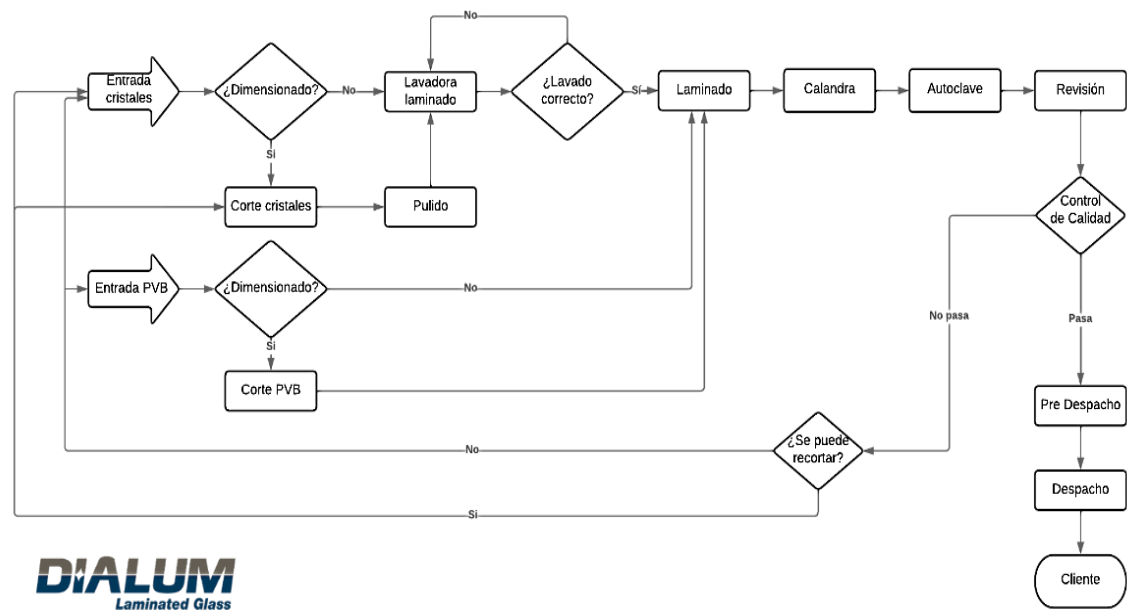


Diagrama 3-2: Proceso productivo Dialum Laminated Glass.

Fuente: Biblioteca Dialum Laminated Glass.

Entrada de cristales: Dialum Laminated Glass Concepción es una planta de laminado de cristales, por lo tanto, los vidrios son importados desde vidrios Lirquen, en general los vidrios ya vienen dimensionados por pedido específico del cliente (Dialum Laminated Glass), pero en la planta de Dialum Laminated Glass, en caso de ser necesario se dimensionan los vidrios hasta obtener el tamaño deseado por el cliente (clientes de áreas inmobiliarias). Cabe destacar que en este tipo de negocio se busca vender un alto volumen de productos, debido a que el precio es bajo, por lo tanto, mientras menos pérdidas de material exista, mayor margen de ganancia se obtendrá al final del proceso. El equipo utilizado para el corte en Dialum Laminated Glass es un equipo CNC de la marca Liseck.

Entrada de PVB: El polivinil butiral o más conocido como PVB, es una película plastificada que se adhiere al vidrio mediante calor y presión. El PVB debe ser transportado en rollos y bajo atmosfera controlada, debido a que a temperatura ambiente (25°C) corre el riesgo de adherirse a cualquier superficie cercana. En Dialum Laminated Glass al igual que el vidrio, el PVB importado a pedido explicito con las dimensiones previamente establecidas, todo con el fin de ahorrar y evitar gastos por mermas de productos o desperdicios.



Figura 3-9: Zona de carga PVB.

Fuente: Elaboración propia en colaboración con dialum laminated glass.

Corte: Como se puede apreciar en el diagrama 2, en caso de ser necesario el vidrio puede ser dimensionado mediante una maquina CNC de la marca Liseck. Cabe destacar que el desperdicio de este proceso (vidrio sobrante o cortado, quebrado, etc.) es enviado nuevamente a vidrios Lirquen para ser nuevamente fundido y obtener vidrio nuevamente, aportando así a generar una economía circular y generar menos desperdicios que contaminen el medio ambiente.



Figura 3-10: Zona de Corte (CNC).

Fuente: Elaboración propia en colaboración con dialum laminated glass.

Pulido: El proceso de pulido comienza al término del dimensionado de los vidrios. El pulido se puede realizar por dos motivos, los cuales son:

- Imperfecciones en la superficie del vidrio producto del transporte o agentes propios del ambiente de almacenaje.
- Imperfecciones generadas por el corte de los vidrios en la máquina CNC.



Figura 3-11: Zona de pulido.

Fuente: Elaboración propia en colaboración con dialum laminated glass.

Lavado: El lavado de los vidrios se realiza para retirar todo agente que pueda interferir en la unión del PVB con los vidrios, de esta manera se asegura una correcta unión y evitar reprocesos y pérdidas de material (PVB y vidrios).



Figura 3-12: Zona de lavado.

Fuente: Elaboración propia en colaboración con dialum laminated glass.

Laminado: El proceso de laminado se produce en un cuarto o sala especial, la cual tiene una temperatura controlada de 18°C. en su interior se presenta una mesa de rodillos, en las cuales se transportan los vidrios ya tratados. En este punto se posiciona sobre uno de los vidrios el PVB, el cual debe sobresalir por los extremos del vidrio. Acto seguido un par de operarios posicionan un vidrio sobre el PVB generando la estructura denominada cristal laminado (vidrio - PVB – vidrio). Por último, un operario corta los extremos sobrantes del PVB. Terminado este proceso el cristal laminado avanza al siguiente proceso.



Figura 3-13: Zona de laminado.

Fuente: Elaboración propia en colaboración con dialum laminated glass.

Calandra: El cristal laminado avanza por una mesa de rodillos hasta la calandra, la cual es un equipo mecánico, el cual mediante rodillos aplica presión sobre la superficie del cristal laminado para retirar burbujas de aire entre los vidrios y el PVB. Luego el cristal laminado pasa sobre un horno existente en la calandra, el cual aumenta la temperatura del PVB, el cual se vuelve elástico y pegajoso. Por último, el cristal laminado vuelve a pasar por unos rodillos que aplican presión sobre la superficie para quitar el aire al interior de la unión de los cristales y el PVB. Al salir de la calandra los cristales laminados son posicionados en atriles de transporte, los cuales son ingresados en el próximo proceso.



Figura 3-14: Zona de calandra 1.

Fuente: Elaboración propia en colaboración con dialum laminated glass.

Autoclave: El proceso en la autoclave comienza con la llegada de los cristales laminados en los atriles, los cuales son introducidos en el equipo. Posteriormente se cierra la puerta de seguridad y comienza el proceso de autoclave, el cual se compone de tres fases, las cuales son:

- Ascenso (la temperatura debe aumentar más lento que la presurización dentro del autoclave).
- Sostenimiento (temperatura superior a los 135°C y presión entre 10 y 14 bares)
- Descenso (la presión se debe mantener hasta que la temperatura llegue a los 40°C para evitar deformaciones en los cristales).

Cada una de las fases posee una temperatura y presión específica de funcionamiento como se puede apreciar en la siguiente ilustración:

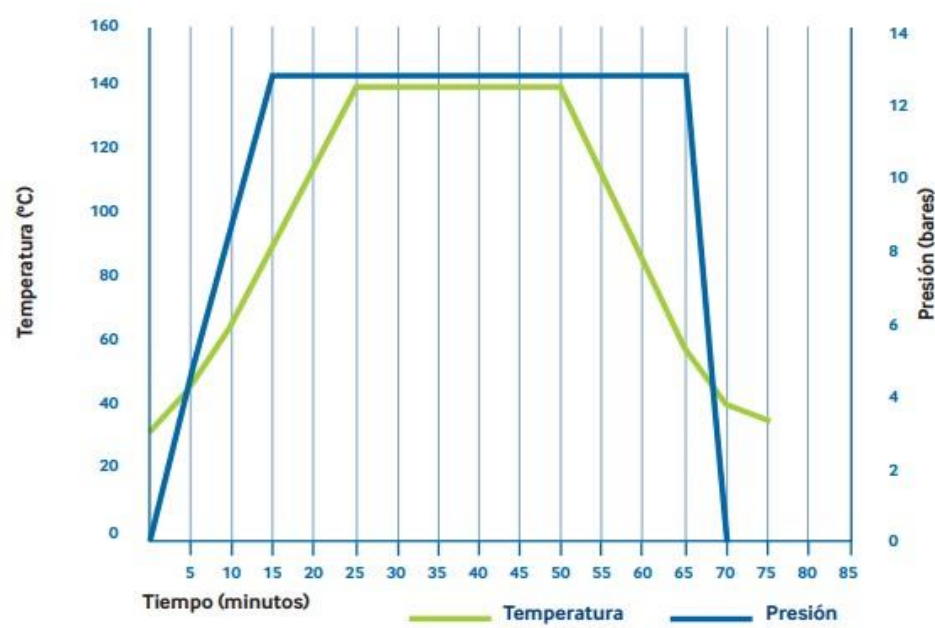


Gráfico 3-1: Ciclo optimo Auto clave.
Fuente: Manual PVB, biblioteca dialum laminated glass.

Temperatura	135 - 145°C*
	275 - 295°F
Presión	10 - 14 bares
	145 - 205 psi
Tiempo mínimo de sostenimiento	30 - 60 minutos
Temperatura para liberación de presión	50°C máximo - 40°C para QS

Tabla 3-2: Condiciones recomendades de operación.
Fuente: Manual PVB, Biblioteca dialum laminated glass.



Figura 3-15: Zona de Autoclave.

Fuente: Elaboración propia en colaboración con dialum laminated glass.

Control de calidad: Corresponde a una revisión de los cristales laminados. En este punto se evalúa si los productos cumplen con las especificaciones solicitadas por el cliente.

- En caso negativo se evalúa si el cristal puede ser reprocesado para evitar pérdidas de material.
- En caso positivo los cristales avanzan al predespacho.

Predespacho: El proceso de predespacho corresponde al embalaje de los cristales en atriles y envolver los cristales en un papel que evita rayones en la superficie de los cristales. Posteriormente se procede al almacenaje en bodega.

Despacho: El despacho de exportación se realiza entre dos a tres veces a la semana, dependiendo de la demanda de los productos. Por otro lado, los productos de venta nacional y local se distribuyen por Cristales Dialum, empresa que se encuentra al costado de Dialum Laminated Glass.

3.4.7. Productos elaborados por dialum laminated glass

Algunos de los productos elaborados en la planta Dialum Laminated Glass Concepción son los: cristales antibalas, cristales acústicos, cristales laminados de seguridad, este último consiste en el ensamblaje de dos o más láminas de vidrio monolíticos intercalados por varias láminas de Polivinilo Butiral (PVB). La particularidad de los cristales laminados es la capacidad de no expulsar esquirlas a la hora de fracturarse, las esquirlas se adhieren al PVB, disminuyendo el riesgo de fragmentarse el vidrio. Además de poseer la capacidad de curvatura en su diseño entre otras particularidades.

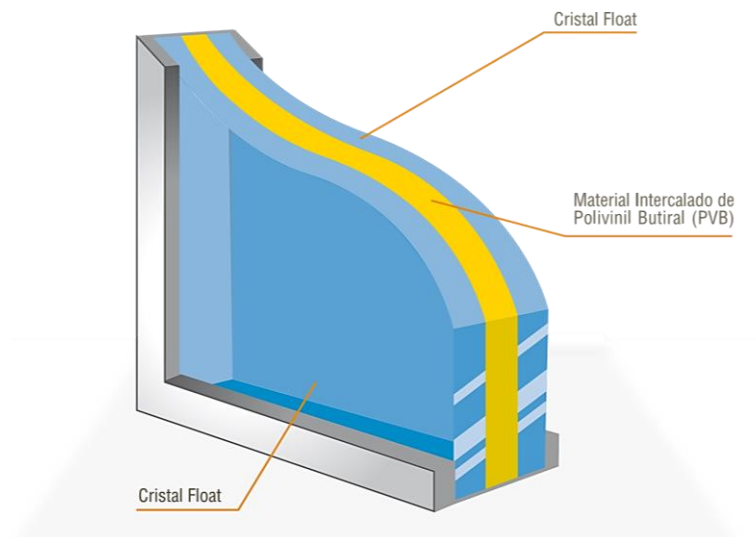


Figura 3-16: Conformación del vidrio laminado de seguridad

Fuente: Catalogo Dialum

Los diferentes tipos de cristales que se producen dentro de la empresa tienen una denominación en clave dada por números (X.Y.Z) en la que se indica el primer cristal y su espesor en milímetro, el segundo cristal con su espesor en milímetros y la cantidad de láminas de PVB de espesor designado, el cual mediante calor y presión genera la unión. A continuación, se presenta la nomenclatura utilizada en Dialum Laminated Glass para referirse a los productos que oferta la empresa en Concepción.



Figura 3-17: Especificación del producto

Fuente: Catalogo Dialum

Como explica la ilustración un cristal laminado se compone de dos cristales unidos por una película plastificada de PVB, el cual mediante calor y presión genera la unión.

Algunos de los productos elaborados por Dialum Laminated Glass son:

- 3.3.1 cristal de seguridad: aceptado como vidrio de seguridad en la Norma Chilena para construcciones que tengan ventanas que den al exterior.
- 3.3.2 cristal acústico: este cristal cumple con aislar de mejor forma el ruido.

3.5. DESCRIPCIÓN GENERAL DE EQUIPOS A EVALUAR

3.5.1. Estanques de procesos

Los estanques de procesos, también conocidos como tanques de proceso o depósitos de proceso, son estructuras diseñadas y construidas para contener y almacenar sustancias líquidas o materiales a granel utilizados en diversos procesos industriales. Estos estanques son parte integral de instalaciones industriales en sectores como la química, petroquímica, farmacéutica, alimentaria y otras industrias que manejan líquidos en sus operaciones.

Los estanques de procesos están diseñados para cumplir con requisitos específicos de almacenamiento, manipulación y transporte seguro de los materiales que contienen. Pueden variar en tamaño desde pequeños recipientes hasta grandes estructuras de almacenamiento y su diseño depende de factores como el tipo de sustancia almacenada, la presión a la que está sometida como los estanques presurizados que están diseñados y

construidos de acuerdo con estrictas normas y regulaciones de seguridad para garantizar su integridad y evitar fugas o rupturas que puedan poner en peligro la seguridad de las personas y el medio ambiente. Además, a menudo están equipados con sistemas de seguridad, como válvulas de alivio de presión, para controlar y liberar la presión en caso de que esta aumente peligrosamente.

Por lo tanto, la integridad mecánica en cualquier tipo de estanque es esencial para su diseño, construcción, operación y mantenimiento ya que deben cumplir con estándares y regulaciones específicas para garantizar su seguridad y funcionamiento adecuado.

3.5.2. Sistemas de cañerías

Los sistemas de cañerías, también conocidos como sistemas de tuberías o redes de tuberías, se refieren a un conjunto interconectado de conductos o tubos utilizados para transportar fluidos (líquidos, gases o sólidos pulverizados) de un lugar a otro en diversos contextos, como en la industria, la construcción, el suministro de agua, la distribución de energía, entre otros.

Estos sistemas están diseñados para facilitar el flujo eficiente y seguro de los fluidos a lo largo de distancias variables y a través de diferentes puntos de origen y destino. Pueden ser tan simples como una red de tuberías para el suministro de agua potable en una casa, o extremadamente complejos en instalaciones industriales que transportan sustancias químicas, petróleo, gas o productos a granel.

Los sistemas de cañerías incluyen componentes como tuberías, válvulas, conexiones, accesorios y equipos auxiliares, como bombas y compresores, que permiten controlar y regular el flujo de los fluidos. La seguridad y la integridad mecánica son fundamentales en el diseño y operación de estos sistemas, ya que las fugas o fallas podrían tener consecuencias graves en términos de seguridad de las personas, daño ambiental y pérdidas económicas.

En resumen, los sistemas de cañerías son redes organizadas de tuberías y componentes relacionados diseñados para transportar diferentes tipos de fluidos de manera segura y eficiente en diversos entornos y aplicaciones.

3.5.3. Dispositivos de alivio

Los dispositivos de alivio son componentes diseñados para liberar de manera controlada y segura la presión o el exceso de fluido en sistemas o equipos en situaciones donde los niveles de presión o flujo superan los límites de diseño o seguridad establecidos. Estos dispositivos tienen la función de prevenir daños en equipos, sistemas o instalaciones debido a sobrepresiones, aliviar la tensión en momentos críticos y evitar potenciales riesgos para la seguridad de las personas y el entorno.

Los dispositivos de alivio pueden ser:

- válvulas de seguridad
- válvula de alivio
- válvula de seguridad y alivio
- válvula de seguridad y alivio de temperatura y presión
- discos de ruptura

y otros mecanismos diseñados para abrirse automáticamente cuando la presión o el flujo alcanzan niveles peligrosos. Una vez que la presión se normaliza y vuelve a niveles seguros, estos dispositivos se cierran nuevamente.

Estos dispositivos son esenciales en diversas industrias, como la petroquímica, la farmacéutica, la manufactura y muchas otras, donde el control de la presión y el manejo seguro de los fluidos son cruciales para evitar accidentes, fugas, explosiones u otros eventos adversos. Su correcta selección, diseño, instalación y mantenimiento son fundamentales para garantizar la integridad y la seguridad de los equipos y sistemas en los que se utilizan.

3.6. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA NORMATIVA A CUMPLIR

3.6.1. Norma API 510

La norma API 510, titulada "Pressure Vessel Inspection Code: In-Service Inspection, Rating, Repair, and Alteration," es una guía desarrollada por el American Petroleum Institute (API) que establece las pautas y los procedimientos para la inspección, evaluación, calificación, reparación y alteración de recipientes a presión en servicio. Esta norma es relevante en industrias tales como la petroquímica, química, generación de energía y otras donde se utilizan estos equipos.

Las principales funciones de la norma API 510 son:

- **Establecer Requisitos de Inspección:** La norma detalla los procedimientos y las pautas que deben seguirse al realizar inspecciones de recipientes a presión. Define los criterios para determinar la necesidad de inspecciones, la frecuencia de estas y las técnicas de inspección que deben emplearse.
- **Definir Criterios de Reparación, Alteración y Rerating:** La norma establece los criterios que deben considerarse al determinar si un recipiente a presión requiere reparación, alteración o rerating. También proporciona pautas para realizar estas reparaciones y modificaciones de manera segura y conforme a los estándares. Esto incluye procedimientos para la selección de materiales, técnicas de soldadura y otros aspectos relacionados con la modificación de los recipientes.
- **Asegurar la Integridad del Equipo:** La API 510 busca garantizar que los recipientes a presión operen de manera segura y confiable a lo largo de su vida útil. La norma ayuda a prevenir fallas y accidentes al establecer lineamientos para la detección y evaluación de corrosión, desgaste, fatiga y otros posibles mecanismos de deterioro.
- **Establecer Prácticas de Evaluación:** La norma define cómo evaluar la estructura de los recipientes a presión a lo largo del tiempo. Proporciona métodos para evaluar la capacidad de carga, la corrosión, el desgaste y otros factores que podrían afectar la integridad del equipo.

- **Garantizar Cumplimiento Normativo:** La norma API 510 asegura que las inspecciones, reparaciones y alteraciones de recipientes a presión se realizarán de acuerdo con los estándares y regulaciones establecidas por la industria y las autoridades reguladoras.

En resumen, la API 510 juega un papel fundamental para garantizar la seguridad y confiabilidad de los recipientes a presión utilizados en diversas industrias, al proporcionar pautas para llevar a cabo una inspección, un mantenimiento y una administración de estos equipos a lo largo de su vida útil.

3.6.2. Norma API 570

La norma API 570, titulada "Piping Inspection Code: Inspection, Repair, Alteration, and Rerating of In-Service Piping Systems," es una guía desarrollada por el American Petroleum Institute (API) que establece las pautas y los procedimientos para la inspección, reparación, alteración y reevaluación de sistemas de tuberías en servicio en la industria del petróleo, petroquímica y otras industrias relacionadas. Esta norma se enfoca en asegurar la integridad y seguridad de las tuberías que transportan fluidos en entornos industriales y químicos, ayudando a prevenir fallas y accidentes que podrían tener consecuencias graves.

Las funciones principales de la norma API 570 son las siguientes:

- **Inspección y Evaluación:** La norma establece los requisitos para llevar a cabo una inspección regular en las tuberías de proceso. Define los métodos de inspecciones visuales, inspecciones no destructivas (por ejemplo, pruebas de radiografía y ultrasonido, entre otros métodos. las frecuencias y los criterios para evaluar la integridad de las tuberías, incluyendo la detección de corrosión, desgaste, grietas y otros defectos.
- **Reparación y Alteración:** La API 570 proporciona directrices para determinar cuándo una tubería necesita reparación debido a daños, corrosión u otros problemas. Define los procedimientos para llevar a cabo estas reparaciones y alteraciones de manera segura y conforme a los estándares.

- **Evaluación de la Integridad:** La norma establece métodos para evaluar la estructura y la vida útil restante de las tuberías. Esto es esencial para continuar asegurando que las tuberías operan de manera segura y confiable a lo largo del tiempo.
- **Gestión de Cambios:** La API 570 proporciona lineamientos para gestionar cambios en las tuberías, como modificaciones, expansiones o cambios de servicio. Esto garantiza que cualquier cambio realizado en las tuberías cumpla con los estándares de seguridad y confiabilidad.
- **Cumplimiento Normativo:** La norma asegura que las inspecciones, reparaciones y modificaciones de tuberías de proceso se realicen de acuerdo con los estándares y regulaciones establecidas por la industria y las autoridades reguladoras.

En resumen, la API 570 es esencial para garantizar la seguridad operativa y la confiabilidad de las tuberías de proceso en entornos industriales. Directrices Proporcionan detalles para la inspección, evaluación y mantenimiento de estas tuberías, ayudando a prevenir fallas catastróficas y asegurando la integridad de las operaciones industriales.

3.6.3. Norma API 574

La norma API, titulada "Inspection Practices for Piping System Components," es una guía desarrollada por el American Petroleum Institute (API) que establece prácticas recomendadas para la inspección, evaluación y mantenimiento de los componentes de los sistemas de tuberías utilizados en instalaciones industriales. Esto incluye tuberías, válvulas, conexiones y otros elementos críticos de los sistemas de conducción de fluidos. La norma ayuda a garantizar que estos componentes operen de manera segura y confiable, evitando fallas y asegurando la integridad de las operaciones industriales.

Las funciones principales de la norma API 574 son las siguientes:

- **Inspección de Tuberías y Componentes:** La norma proporciona directrices detalladas para llevar a cabo inspecciones visuales y otros métodos de evaluación en tuberías, válvulas, conexiones y otros componentes. Esto incluye la planificación, la frecuencia de inspección, la documentación y la gestión de los resultados.

- **Mantenimiento y Reparación:** La norma incluye recomendaciones para el mantenimiento preventivo, las reparaciones y las prácticas adecuadas para garantizar la integridad de los componentes.
- **Evaluación de Integridad:** Se proporcionan directrices para evaluar la integridad de los componentes en términos de corrosión, desgaste, fatiga y otros mecanismos de deterioro que podrían afectar la integridad de los componentes.
- **Inspección de Soldaduras:** La norma aborda la inspección de las soldaduras presentes en los componentes de los sistemas de tuberías.
- **Documentación y Registro:** La API 574 también establece recomendaciones sobre cómo documentar las inspecciones, resultados y acciones tomadas para el mantenimiento y la reparación.
- **Cumplimiento Normativo:** La norma asegura que las inspecciones y evaluaciones se realicen de acuerdo con los estándares y regulaciones aplicables.

En resumen, la API 574 es esencial para garantizar la integridad y seguridad de los equipos de proceso y recipientes a presión utilizados en diversas industrias. Directrices Proporcionan detalles para la inspección, evaluación y mantenimiento de estos equipos, ayudando a prevenir fallas y asegurando la operación segura y confiable de las instalaciones industriales.

3.6.4. Norma API 576

La norma API 576, desarrollada por el American Petroleum Institute (API), tiene como función principal establecer las pautas y los procedimientos para la inspección de dispositivos de alivio de presión en la industria. Estos dispositivos, también conocidos como válvulas de alivio, son esenciales para la seguridad de equipos y sistemas al liberar presión excesiva y prevenir posibles fallas catastróficas. La norma API 576 garantiza que estos dispositivos estén en condiciones óptimas y operen de manera confiable.

Las funciones clave de la norma API 576 son:

- **Inspección y Evaluación de Dispositivos de Alivio de Presión:** La norma proporciona directrices detalladas sobre cómo inspeccionar y evaluar dispositivos de alivio de presión en equipos y sistemas industriales. Esto incluye revisión visual y pruebas no destructivas para asegurar que los dispositivos estén en condiciones adecuadas de funcionamiento.
- **Mantenimiento y Seguridad:** La API 576 establece prácticas recomendadas para el mantenimiento y la gestión de dispositivos de alivio de presión. Esto garantiza que los dispositivos se mantendrán en buenas condiciones y seguirán funcionando de manera segura y eficiente.
- **Normas de Inspección y Pruebas:** La norma define los procedimientos y métodos de inspección como la capacidad de alivio o presión de apertura, la calibración o ajuste, la acumulación de tolerancias y otros factores relevantes que deben utilizarse para evaluar la integridad y el rendimiento de los dispositivos de alivio de presión.
- **Registro y Documentación:** La API 576 proporciona pautas sobre cómo documentar las inspecciones y los resultados de las pruebas de los dispositivos de alivio de presión. Mantener un registro adecuado es esencial para el seguimiento de la integridad y el cumplimiento normativo.
- **Cumplimiento Normativo:** La norma asegura que las inspecciones y evaluaciones de dispositivos de alivio de presión se encuentran de acuerdo con los estándares y regulaciones de la industria y realizan las autoridades reguladoras.

En resumen, la norma API 576 es fundamental para garantizar la seguridad y la confiabilidad de los dispositivos de alivio de presión utilizados en la industria del petróleo y el gas. Proporciona pautas detalladas para la inspección, evaluación y mantenimiento de estos dispositivos, con el objetivo de prevenir situaciones peligrosas y asegurar el funcionamiento seguro de las instalaciones industriales.

CAPÍTULO 4: DISEÑO SOLUCIÓN

4.1. LEVANTAMIENTO DE EQUIPOS EN ESTUDIO

El levantamiento de equipos busca presentar una descripción de todos los equipos a evaluar como los recipientes a presión, estanques almacenamiento, sistemas de cañerías y válvulas de seguridad con sus datos técnicos de fabricación, su TAG y sus respectivos datos de operación, para eso se generaron diferentes formularios y plantillas específicas para registrar la información técnica y parámetros de los diferentes equipos, las cuales se incluyen en el Anexo A, B, C, D y E.

A su vez se generó una visita a terreno a la planta dialum Laminated Glass en Concepción y en conjunto con el gerente de mantenimiento se procede a recolectar toda la información relevante como los datos técnicos, características de operación, tipo de intervenciones que se hallan generado además de sus respectivos planos de cada equipo. (Anexo F, G.)

4.2. FRECUENCIAS DE INSPECCIÓN

El diseño de un programa de inspecciones se refiere a la periodicidad con la que se llevan a cabo las inspecciones, evaluaciones o revisiones de un elemento o sistema específico. Esta frecuencia puede variar ampliamente según el tipo de objeto, sistema o equipo que se esté inspeccionando acorde con sus normativas, con una frecuencia coherente con las recomendaciones del fabricante o según lo determine el historial de funcionamiento del equipo y su evaluación en función del riesgo.

Los equipos deberán ser inspeccionados periódicamente para asegurar que se encuentran en condiciones seguras para la operación estas frecuencias deben ajustarse de acuerdo con las recomendaciones del fabricante y los estándares normativos de la industria como las norma API (American Petroleum Institute) y las condiciones específicas de operación de la planta Dialum Laminated Glass en Concepción. Además, se documentará y almacenará todas las inspecciones con el fin de realizar un seguimiento de los hallazgos y las acciones correctivas para cada uno de los equipos en particular.

4.2.1. Recipientes a Presión

La norma API 510 establece las pautas y los procedimientos para la inspección, evaluación, calificación, reparación y alteración de recipientes a presión en servicio, detalla los procedimientos que se deben seguir para realizar las inspecciones, la frecuencias de estas y las técnicas de inspección que deben emplearse para determinar si un recipiente a presión requiere reparación, alteración o rerating con esto busca garantizar que los equipos operen de manera segura y confiable a lo largo de su vida útil, ayudando a prevenir fallas y accidentes, para la detección y evaluación de corrosión, desgaste, fatiga y otros posibles deterioros que afecten la integridad del equipo.

Por lo que la norma nos señala que las frecuencias de inspección son:

- Inspección Visual – 2.5 años como máximo.
- Inspección externa – 5 años como máximo.
- Inspección interna – 10 años como máximo.

De acuerdo a la frecuencia de inspección señalada por la norma API 510, se genera una plantilla específica como se muestra en Tabla 4-1 (Frecuencia de Inspección de recipientes a presión), para llevar el control de las distintas frecuencias de inspecciones de los recipientes a presión, en donde se identifica al equipo con su respectivo TAG, la fecha de instalación de este, fecha de la última inspección visual, última inspección externa y última inspección interna, señalando además las fechas de las próximas inspecciones de acuerdo con su respectiva frecuencia de inspección como se muestra en la siguiente imagen.

CRISTALES DIALUM[®]		FRECUENCIAS DE INSPECCIÓN DE RECIPIENTES A PRESIÓN		
Identificación del equipo (TAG)	Fecha de instalación	Frecuencias de Inspección	Fecha de la última inspección	Fecha de la Próxima Inspección
RCP-STG-Z1-001	12-01-2019	Inspección Visual – 2.5 años como máximo	06 / 09 / 2024	06 / 12 / 2027
		Inspección Externa – 5 años como máximo	/ /	12 / 01 / 2024
		Inspección Interna – 10 años como máximo	/ /	12 / 01 / 2029
	/ /	Inspección Visual – 2.5 años como máximo	/ /	/ /
		Inspección Externa – 5 años como máximo	/ /	/ /
		Inspección Interna – 10 años como máximo	/ /	/ /
	/ /	Inspección Visual – 2.5 años como máximo	/ /	/ /
		Inspección Externa – 5 años como máximo	/ /	/ /
		Inspección Interna – 10 años como máximo	/ /	/ /
	/ /	Inspección Visual – 2.5 años como máximo	/ /	/ /
		Inspección Externa – 5 años como máximo	/ /	/ /
		Inspección Interna – 10 años como máximo	/ /	/ /
	/ /	Inspección Visual – 2.5 años como máximo	/ /	/ /
		Inspección Externa – 5 años como máximo	/ /	/ /
		Inspección Interna – 10 años como máximo	/ /	/ /

Tabla 4-1: Frecuencia de Inspección de recipientes a presión.
Fuente: Elaboración Propia.

4.2.2. Sistemas de cañería

La norma API 570 establece los requisitos para llevar a cabo una inspección en las tuberías de proceso , define los métodos, las frecuencias y los criterios para evaluar la integridad de las tuberías incluyendo la detección de corrosión, desgaste, grietas y otros defectos, proporciona las directrices para determinar cuándo una tubería necesita reparación, cambio, modificación o alteración de manera segura y conforme a los estándares para asegurar que su operación sea segura y confiable a lo largo del tiempo.

Por lo que la norma nos señala que las frecuencias de inspección son:

- Inspección Visual – 2.5 años como máximo.
- Las Inspecciones externas de sistemas de cañerías en servicio altamente peligroso solo se requieren si la inspección visual indica que se requiere aplicar métodos NDT adicionales. – 5 años como máximo.

De acuerdo a la frecuencia de inspección señalada por la norma API 570, se genera una plantilla específica como se muestra en Tabla 4-2 (Frecuencia de Inspección a sistema de cañería) para llevar el control de las distintas frecuencias de inspecciones a los diferentes sistemas de cañerías, en donde se identifica al equipo con su respectivo TAG, la fecha de instalación de este, fecha de la última inspección visual y su última inspección externa, señalando además las fechas de las próximas inspecciones de acuerdo con su respectiva frecuencia de inspección como se muestra en la siguiente imagen.

CRISTALES DIALUM		FRECUCIAS DE INSPECCÓN A SISTEMAS DE CAÑERIAS		
Nombre o TAG de la línea	Fecha de instalación	Frecuencias de Inspección	Fecha de la última inspección	Fecha de la Próxima Inspección
PIP-UTL-Z1-005	12-01-2019	Inspección Visual – 2.5 años como máximo	06 / 09 / 2024	06 / 12 / 2027
		Inspección Externa – 5 años como máximo	/ /	12 / 01 / 2024
	/ /	Inspección Visual – 2.5 años como máximo	/ /	/ /
		Inspección Externa – 5 años como máximo	/ /	/ /
	/ /	Inspección Visual – 2.5 años como máximo	/ /	/ /
		Inspección Externa – 5 años como máximo	/ /	/ /
	/ /	Inspección Visual – 2.5 años como máximo	/ /	/ /
		Inspección Externa – 5 años como máximo	/ /	/ /
	/ /	Inspección Visual – 2.5 años como máximo	/ /	/ /
		Inspección Externa – 5 años como máximo	/ /	/ /
	/ /	Inspección Visual – 2.5 años como máximo	/ /	/ /
		Inspección Externa – 5 años como máximo	/ /	/ /
	/ /	Inspección Visual – 2.5 años como máximo	/ /	/ /
		Inspección Externa – 5 años como máximo	/ /	/ /
	/ /	Inspección Visual – 2.5 años como máximo	/ /	/ /
		Inspección Externa – 5 años como máximo	/ /	/ /
	/ /	Inspección Visual – 2.5 años como máximo	/ /	/ /
		Inspección Externa – 5 años como máximo	/ /	/ /

Tabla 4-2: Frecuencia de Inspección a sistema de cañería.

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.3. Dispositivos de alivio

La norma API 576 proporciona las directrices detalladas sobre como inspeccionar y evaluar dispositivos de alivios de presión, como válvulas de seguridad y válvulas de alivio en equipos y sistemas industriales, como la capacidad de alivio o presión de apertura, la calibración o ajuste, entre otros factores relevantes que aseguran el correcto rendimiento de los dispositivos de alivio asegurando que mantendrán en buenas condiciones y funcionarán de manera segura y eficiente durante su funcionamiento.

Por lo que la norma nos señala que las frecuencias de inspección son:

- Sistemas de Alivio Inspección de Discos de Ruptura – 5 años como máximo
- Inspección de PVRV/ERV/ Venteos de Explosiones – 5 años como máximo.
- Inspección/Prueba en Taller de PSVs – 10 años como máximo.

De acuerdo a la frecuencia de inspección señalada por la norma API 576, se genera una plantilla específica como se muestra en Tabla 4-3 (Frecuencia de Inspección de válvula de seguridad) para llevar el control de las distintas frecuencias de inspecciones de los dispositivos de alivio, en donde se identifica al equipo con su respectivo TAG, la fecha de instalación de este y su respectiva fecha de la última prueba en taller o banco de prueba, señalando además las fechas de las próximas inspecciones de acuerdo con su respectiva frecuencia de inspección como se muestra en la siguiente imagen.

CRISTALES DIALUM[®]		FRECUENCIAS DE INSPECCIÓN DE DISPOSITIVOS DE ALIVIO		
Identificación del equipo (TAG)	Fecha de instalación	Frecuencias de Inspección	Fecha de la última inspección	Fecha de la Próxima Inspección
VLV-ALV-Z1-001	12-01-2019	Sistemas de Alivio Inspección de Discos de Ruptura – 5 años como máximo	No Aplica	No Aplica
		Inspección de PVRV/ERV/ Venteos de Explosiones – 5 años como máximo.	No Aplica	No Aplica
		Inspección/Prueba en Taller de PSVs – 10 años como máximo.	29-11-2023	29-11-2033
	/ /	Sistemas de Alivio Inspección de Discos de Ruptura – 5 años como máximo	/ /	/ /
		Inspección de PVRV/ERV/ Venteos de Explosiones – 5 años como máximo.	/ /	/ /
		Inspección/Prueba en Taller de PSVs – 10 años como máximo.	/ /	/ /

Tabla 4-2: Frecuencia de Inspección de dispositivo de alivio.
 Fuente: Elaboración Propia.

4.3. REVISIÓN DE LA EXISTENCIA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO ASOCIADO A EQUIPOS ESTÁTICOS.

4.3.1. Descripción de la Situación Actual:

En el contexto de esta revisión, se ha llevado a cabo una evaluación exhaustiva de la gestión de mantenimiento de equipos estáticos en la planta de Dialum Laminated Glass en Concepción. Lamentablemente, durante la revisión, se ha observado que no existe un Plan de Mantenimiento Predictivo (PMP) implementado o asociado a los equipos estáticos de la planta.

4.3.2. Hallazgos y Evidencia:

- **Ausencia de Documentación:** No se ha identificado ni obtenido documentación alguna que respalde la existencia de un PMP para los equipos estáticos. Los registros y documentos relacionados con el mantenimiento no hacen referencia a ningún enfoque específico de monitoreo predictivo.
- **Entrevistas con el Personal:** Durante las entrevistas con el personal de mantenimiento y operaciones, se confirmó la falta de un PMP. El personal indicó que las prácticas actuales de mantenimiento se centran principalmente en el mantenimiento correctivo y preventivo, pero no incluyen enfoques predictivos.
- **Historial de Mantenimiento:** La revisión del historial de mantenimiento reveló una tendencia hacia la resolución de problemas a medida que surgían, en lugar de un enfoque proactivo basado en el monitoreo predictivo para evitar fallas no planificadas.

4.3.3. Impacto Potencial:

La falta de un PMP para equipos estáticos puede tener consecuencias significativas, incluyendo:

- Mayor riesgo de fallas inesperadas en los equipos.
- Aumento del tiempo de inactividad no planificado.
- Mayor costo de reparaciones y reemplazos.
- Potencial riesgo para la seguridad del personal y las operaciones.

4.3.4. Recomendaciones:

En vista de esta observación, se hacen las siguientes recomendaciones:

1. **Desarrollar un Plan de Mantenimiento Predictivo:** Se recomienda que la organización establezca un PMP específico para los equipos estáticos. Este plan debería incluir la identificación de las técnicas predictivas adecuadas (por ejemplo, termografía, ultrasonido, análisis de vibraciones) y los intervalos de monitoreo correspondientes.
2. **Capacitación del Personal:** Proporcionar capacitación adecuada al personal de mantenimiento sobre las técnicas predictivas y su aplicación en la gestión de activos estáticos.
3. **Documentación y Registro:** Establecer un sistema de documentación y registro efectivo para el seguimiento de las actividades de monitoreo predictivo y el mantenimiento asociado.
4. **Implementación de Mejores Prácticas:** Considerar la adopción de mejores prácticas de la industria y cumplir con las regulaciones aplicables en lo que respecta al mantenimiento predictivo.

4.4. ANÁLISIS DE ESPESORES POR ULTRASONIDO

El análisis de espesores por ultrasonido es una técnica no destructiva utilizada para medir el espesor de materiales, especialmente en estructuras metálicas. En este proceso, se emplea un equipo de ultrasonido que emite pulsos de sonido de alta frecuencia hacia el material en cuestión. Estos pulsos de sonido viajan a través del material y son reflejados por la interfaz entre las diferentes capas del material o por la superficie opuesta.

La medición se realiza midiendo el tiempo que tarda el eco en regresar al transductor ultrasónico. Conociendo la velocidad del sonido en el material y el tiempo de viaje del eco, es posible determinar el espesor del material con gran precisión. Esta técnica es especialmente útil para evaluar la integridad estructural de componentes y equipos, detectar corrosión, erosión, y desgaste, así como para monitorear el adelgazamiento del material con el tiempo.

4.4.1. Localización de Puntos de Medición de Espesores (TML) para monitoreo de Corrosión Generalizada.

Este proyecto provee los lineamientos para seleccionar los puntos de medición de espesor por ultrasonido. Esto enfocado y con el objetivo de monitorear la vida remanente, de corrosión generalizada y cálculo de la tasa de corrosión a corto plazo como a largo plazo de los diferentes equipos a evaluar.

El dueño del equipo y el inspector deben definir la ubicación de los puntos de medición de espesores. Cuando sea aplicable y se considere apropiado se utilizarán las Figuras 1 a 4 como guía para seleccionar la ubicación de los puntos de medición de espesores para recipientes, tanques y cañerías. Cada figura además identifica las áreas donde deberían tomarse lecturas adicionales, de ser necesario. No obstante, el inspector y el dueño del equipo deben considerar las condiciones de aplicación o factores de cada equipo específico y hacer los ajustes necesarios a estas guías para definir la ubicación de los puntos de medición de espesores.

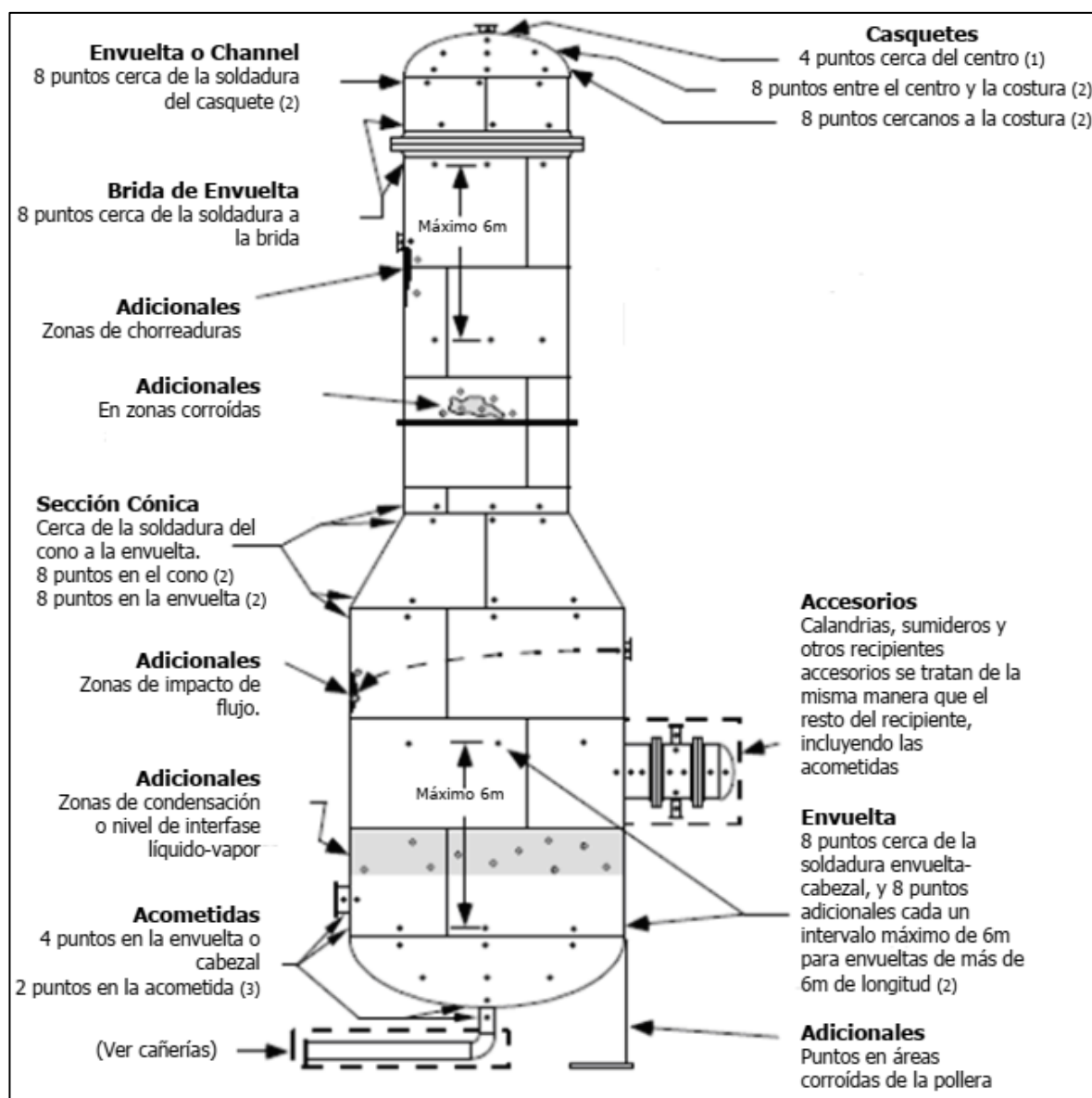


Figura 4-18: Puntos de medición de espesores en recipientes.

Fuente: Guía de Integridad Mecánica, Marcelo Quiroz Neira

Notas:

- (1) Tomar 1 punto cerca del centro si el diámetro exterior es menor a 1,8m.
- (2) Tomar 6 puntos si el diámetro externo es menor a 3,6m; y 4 puntos si es menor a 1,8m.
- (3) Tomar 4 puntos si es una acometida de entrada o salida de fluidos o un paso de hombre.
- (4) Nota General: reportar todas las evidencias visibles de deterioro o condiciones dudosas que sean detectadas, tomando lecturas adicionales en estos puntos para determinar el espesor de material remanente.

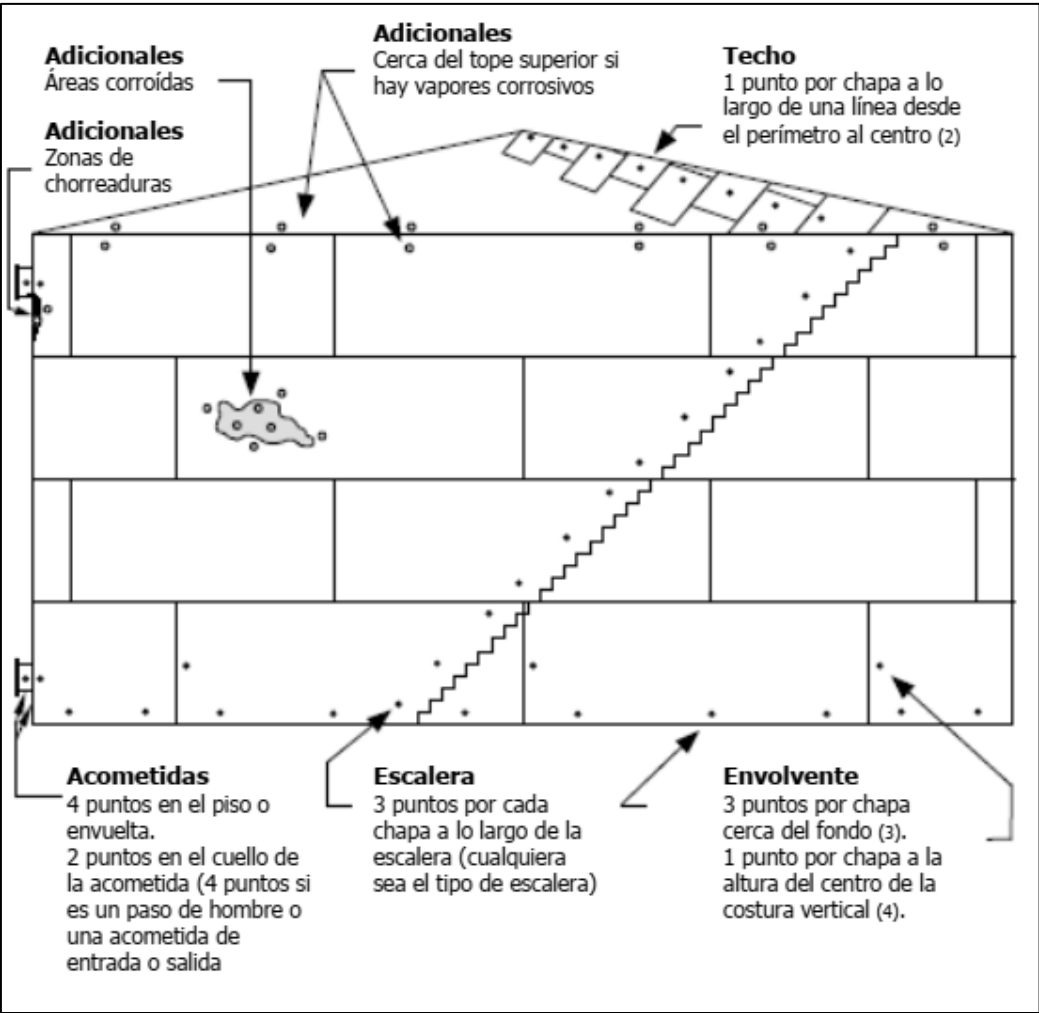


Figura 4-19: Puntos de medición de espesores en envuelta y techo de tanques

Fuente: Guía de Integridad Mecánica, Marcelo Quiroz Neira

Notas:

- (1) Usar el criterio de los recipientes para otro tipo de tanques.
- (2) Tomar 8 lecturas mínimo. Para techos planos, tomar 4 valores cerca de la envuelta y 4 valores cerca del centro del techo.
- (3) Tomar 12 valores mínimo, igualmente espaciados. En los primeros dos puntos de medición, tomar valores múltiples para determinar en que punto dentro de los 30cm de la unión con el piso se detecta el menor espesor. Todas las lecturas posteriores se deberán tomar a esta elevación.
- (4) Solo para la chapa del fondo.
- (5) Nota general: reportar todas las evidencias visibles de deterioro o condiciones dudosas que sean detectadas, tomando lecturas adicionales en estos puntos para determinar el espesor de material remanente.

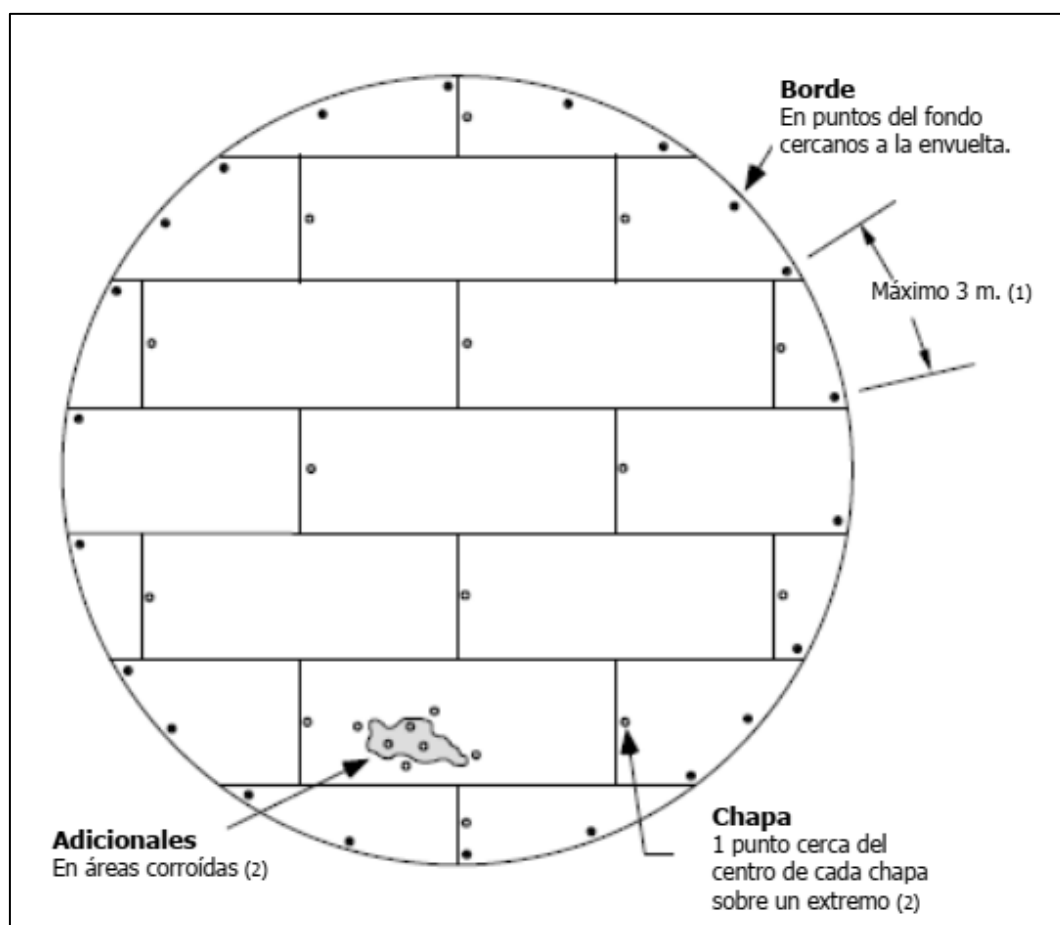


Figura 4-20: Puntos de medición de espesores en pisos de tanques.

Fuente: Guía de Integridad Mecánica, Marcelo Quiroz Neira

Notas:

- (1) Máximo de 2,40 m si el diámetro externo es menor a 18m, 1,20m máx. si el diámetro externo es menor a 6m, 0,60m máx. si el diámetro externo es menor a 3,60m y 0,30cm máx. si el diámetro externo es menor a 1,80m.
- (2) Para pisos de tanques se recomienda realizar una inspección por técnica de flujo magnético (MFE) o examen con ultrasonido (UT), cubriendo tanto como sea posible de la superficie del fondo del tanque. No son necesarias las mediciones por chapa cuando se realiza el barrido con MFE o UT, a excepción de que sea necesario tomar mediciones adicionales donde se detecte un espesor menor al especificado.
- (3) Nota general: reportar todas las evidencias visibles de deterioro o condiciones dudosas que sean detectadas, tomando lecturas adicionales en estos puntos para determinar el espesor de material remanente.

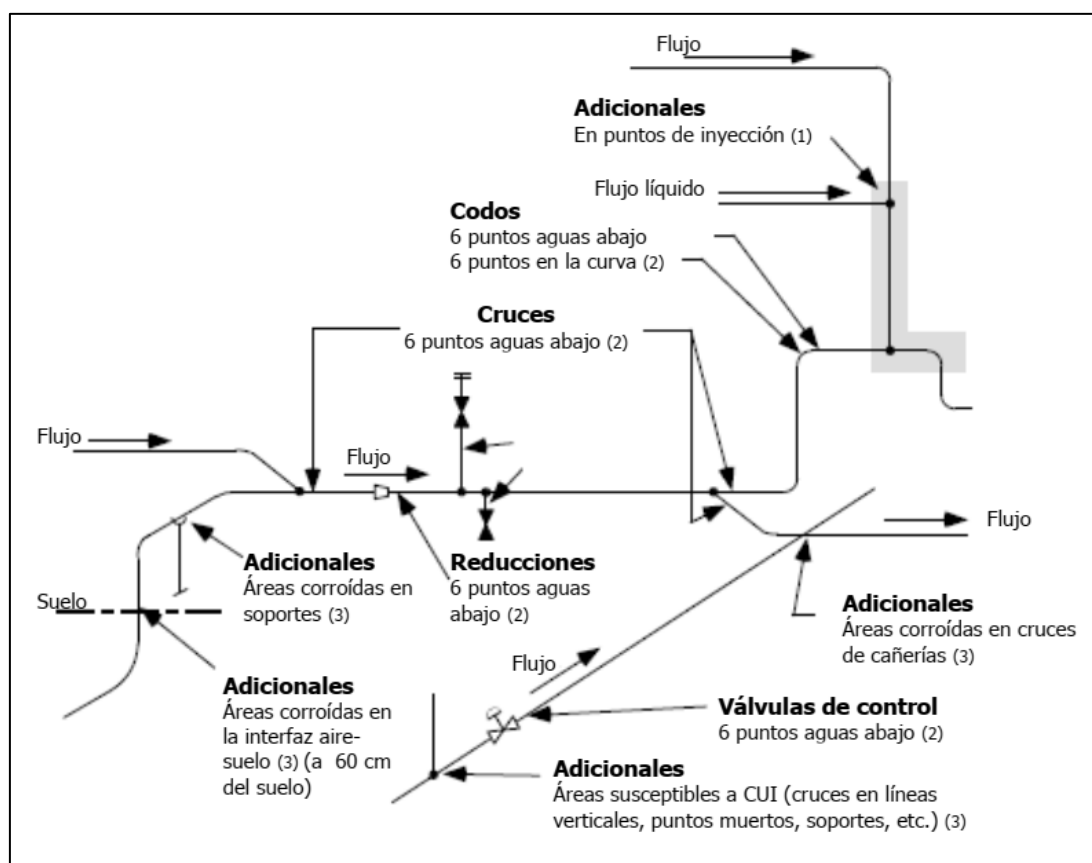


Figura 4-21: Puntos de medición de espesores en cañerías

Fuente: Guía de Integridad Mecánica, Marcelo Quiroz

Notas:

- (1) Tomar los puntos aguas arriba, comenzando a una distancia de 30 cm o el equivalente a 3 diámetros (el que sea menor) hasta en la segunda curva o un mínimo de 7,5m aguas abajo (seleccionado por un equipo en base a un análisis de fluidodinámica).
- (2) Tomar 4 puntos para cañerías menores a 12"; y 2 puntos para cañerías menores a 4". Medir el 50% de todos los codos, cruces (en T o Y), reducciones y válvulas de control.
- (3) No dañar la cobertura protectora a menos que haya corrosión o dañada en la misma que se aprecie visualmente. Donde sea posible, elevar la cañería y observar los soportes.
- (4) Nota general: reportar todas las evidencias visibles de deterioro o condiciones dudosas que sean detectadas, tomando lecturas adicionales en estos puntos para determinar el espesor de material remanente.

4.5. Registro de medición de espesores de PCE

Se genero un informe (anexo H) para el registro de las mediciones de espesores de PCE (Equipo De contención De Procesos), con sus respectivos datos técnicos y con el objetivo de monitorear y garantizar la integridad mecánica de los PCE, analizando y calculando el T requerido, velocidad de corrosión a largo plazo (LT) y la vida remanente del estanque. Comparando los valores de espesor medidos con los valores de diseño y los criterios de aceptación establecidos por la normativa API 510.

Se procede a llevar a cabo la medición de espesores por ultrasonido, con los puntos ya definidos y marcados según la guía de “Localización de Puntos de Medición”, junto con la cantidad de mediciones a registrar. Se preparo y calibro el equipo de ultrasonido y se limpió la superficie del recipiente a medir y finalmente se procede a la toma de datos y registro de mediciones realizadas con su respectiva fecha, las cuales se muestran a continuación a través del informe antes mencionado.

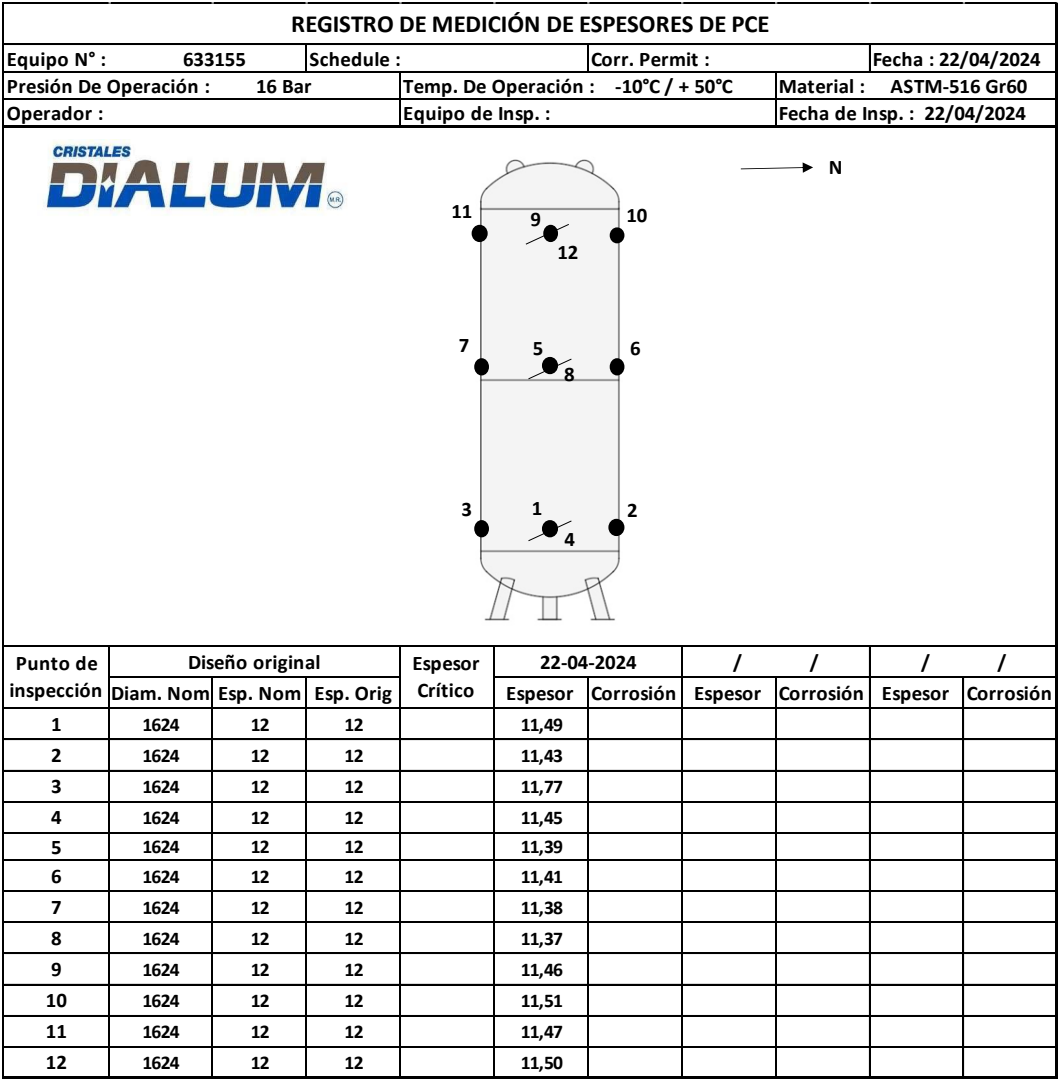


Figura 4-22: Registro de medición de espesores de PCE
Fuente: Elaboración propia

4.5.1. Cálculo del espesor de pared requerido

El espesor de pared requerido se refiere al espesor mínimo necesario de la pared de un recipiente, tanque o tubería para soportar de manera segura las condiciones de operación a las que se someterá, es un aspecto crítico en el diseño de recipientes y tanques de contención de procesos. Este cálculo incluye datos técnicos y factores como la presión interna o externa, la temperatura de operación, la resistencia del material, el tipo de material de construcción y otros factores relacionados con la seguridad y la integridad estructural. Los cuales fueron extraídos de la norma ASME B31.3 que se encuentran en el anexo (letras I, J, K).

El espesor de pared requerido se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$T_{requerido} = \frac{P * R}{S * E * W - 0,6 * P}$$

Figura 4-23: Formula de Espesor de pared requerido

Fuente: ASME BPVC Sección VIII, División 1 (Código de calderas y recipientes a presión)

Datos técnicos del estanque:

Material = **B P265GH = ASTM-516 grado 60**

2

Temperatura operación = Work temp min. = - 10 ° C = **14 °F**

Work temp máx. = + 50 ° C = **122 °F**

P = Presión de diseño interna del fluido = **16 bar = 232.06 PSI**

S = Esfuerzo permitido (PSI) Tabla A.1 = **20.0 = 20.000 PSI**

E = Eficiencia de la junta o factor de calidad. Tabla A-1A o A-1B (adimensional) = **0.85** (valor entregado por el fabricante, especificado en el plano del equipo)

D = Diámetro **interior** del elemento (pulgadas) = **1600 mm = 62.99213"**

R = Radio interior del elemento. (Pulgadas) = **800 mm = 31.4961"**

W = Factor de reducción de resistencia en junta soldada. Tabla 302.3.5(adimensional)=

1

Y = Coeficiente por tabla 304.1.1. Valido para $t < D/6$ y para materiales mostrados. El valor de “Y” puede ser interpolado para temperaturas intermedias, (adimensional) = **0.4**

T = Espesor de pared requerido (milésima de pulgadas) =

$$T_{requerido} = \frac{P * R}{S * E * W - 0,6 * P}$$

$$T_{requerido} = \frac{232.06 \text{ (PSI)} * 31.4961"}{20.000 \text{ (PSI)} * 0.85 * 1 - 0,6 * 232.06 \text{ (PSI)}}$$

$$T_{requerido} = \mathbf{0.433" = 10.9 \text{ mm}}$$

$$T_{requerido} = \frac{P * D}{2 * (S * E * W + P * Y)}$$

$$T_{requerido} = \frac{232.06 \text{ (PSI)} * 62.99213"}{2 * (20.000 \text{ (PSI)} * 0.85 * 1 + 232.06 \text{ (PSI)} * 0.4)}$$

$$T_{requerido} = \mathbf{0.427" = 10.8 \text{ mm}}$$

El cálculo del espesor de pared requerido indica que el estanque diseñado es capaz de resistir las condiciones operativas especificadas, incluyendo presión, temperatura y posibles factores de corrosión, siempre que se utilice un espesor igual o superior a valor calculado (mm/pulgadas). Esto asegura la integridad estructural y la seguridad del sistema dentro de los parámetros establecidos por las normas aplicables, como ASME BPVC Sección VIII o API 510."

4.5.2. Cálculo de Velocidad de corrosión a largo plazo (LT)

La velocidad de corrosión a largo plazo (LT) se refiere a la pérdida de metal por erosión o corrosión a las reacciones químicas con el medio, ya sea interno y/o externo.

De igual forma se refiere a la tasa promedio de corrosión que un material experimenta durante un período prolongado de tiempo bajo condiciones operativas específicas. Además, es un indicador que ayuda a prevenir el impacto acumulativo de la corrosión en un material. Este parámetro es crucial para prever la vida útil de un equipo, tanque o tubería y garantizar la seguridad estructural durante su operación.

La velocidad de corrosión a largo plazo generalmente se calcula a partir de datos históricos o pruebas experimentales y puede expresarse como:

$$Velocidad\ de\ corrosi3n\ (LT) = \frac{t_{inicial} - t_{actual}}{tiempo\ entre\ t_{inicial}\ y\ t_{actual}\ (a\tilde{n}os)}$$

Figura 4-24: Formula de Velocidad de corrosi3n a largo Plazo
Fuente: C3digo de inspecci3n de recipientes a presi3n API 510

T inicial: (Espesor nominal de pared del estanque) = **12 mm = 0.472"**
T final : (Menor lectura de las mediciones tomadas) = **11.37 mm = 0.448"**
Tiempo : (Año de construcci3n de la planta: 2019 hasta 2024) = **5 ańos**

$$LT = \frac{T\ inicial - T\ actual}{Tiempo}$$

$$LT = \frac{0.472\ " - 0.446\ "}{5\ Ańos}$$

$$LT = 0.0048\ (\" /ańo) = 0.121\ (mm/ańo)$$

Según el resultado se puede apreciar una velocidad de corrosión es baja y dentro de los márgenes aceptables, se puede concluir que el material seleccionado es adecuado para el entorno operativo. Lo que implica menores riesgos de falla debido a la corrosión. Asegurando y garantizando la integridad mecánica del PCE.

4.5.3. Cálculo de vida remanente

La vida remanente de un recipiente a presión es el período estimado de tiempo durante el cual el recipiente puede seguir operando de manera segura dentro los parámetros que fue diseñado, considerando factores como el deterioro por corrosión, fatiga y otras formas de degradación mecánica. Este cálculo es fundamental para la planificación del mantenimiento, la evaluación de riesgos, la gestión de activos industriales y la integridad mecánica del equipo.

La vida remanente del recipiente (en años) se deberá calcular a partir de la siguiente formula:

$$Vida\ remanente = \frac{t_{actual} - t_{requerido}}{velocidad\ de\ corrosión}$$

Figura 4-25: Formula de Velocidad de corrosión a largo Plazo
 Fuente: Código de inspección de recipientes a presión API 510

Donde:

T actual: (Menor lectura de las mediciones tomadas) = **11.37 mm = 0.448”**

T requerido: (Espesor de pared mínimo requerido) = **0.433” = 10.9 mm**

Velocidad de corrosión (LT): = **0.0048 (” /año) = 0.121 (mm/año)**

$$Vida\ remanente = \frac{T\ actual - T\ requerido}{Velocidad\ de\ corrosión\ (LT)}$$

$$Vida\ remanente = \frac{0.448\ " - 0.433\ "}{0.0048\ (\"/año)}$$

$$Vida\ remanente = 3.125\ años$$

La vida remanente de un recipiente a presión proporciona una visión crítica sobre el tiempo estimado que este puede seguir operando de manera segura bajo las condiciones actuales. el resultado del equipo refleja que cumple con la normativa de seguridad aplicable por la API 510, lo que nos asegura un margen adecuado para evitar riesgos operativos. A partir de este resultado obtenido, podemos decir que la vida remanente es adecuada para cumplir con los requerimientos de operación por lo que se puede seguir utilizando sin la necesidad de reparaciones inmediatas o de remplazo, ya que el resultado es positivo le permite a la organización planificar a largo plazo las estrategias de mantenimiento o remplazo, de todas formas, se recomienda mantener las inspecciones periódicas para asegurar la validez del cálculo a lo largo del tiempo.

4.5.4. Cálculo de presión máxima admisible de trabajo (MAWP)

El MAWP (Maximum Allowable Working Pressure) o Presión Máxima de Trabajo Permisible, es la presión máxima a la que un recipiente, tanque o equipo puede operar de manera segura bajo las condiciones de diseño especificadas. Este valor está determinado por el espesor de la pared, las propiedades del material, las dimensiones del recipiente y otros factores relacionados con el diseño y las condiciones de operación.

El MAWP establece un límite seguro para evitar fallas estructurales, como la ruptura o deformación, asegurando que el recipiente pueda soportar las presiones internas y externas durante su operación normal.

El MAWP se calcula utilizando fórmulas establecidas en normas como el ASME BPVC Sección VIII, que garantizan que el recipiente cumple con los estándares de ingeniería y seguridad. El MAWP se calcula utilizándola siguiente formula:

$$MAWP = \frac{S * E * T_{req}}{R + 0.6 * T_{req}}$$

Figura 4-26: Formula de presión máxima admisible de trabajo.

Fuente: ASME BPVC Sección VIII, División 1 (Código de calderas y recipientes a presión)

Donde:

S : Esfuerzo permitido (PSI) Tabla A.1 = **20.0 = 20.000 PSI**

E : Eficiencia de la junta o factor de calidad. Tabla A-1A o A-1B (adimensional) = **0.85**

T req : = Espesor de pared requerido (milésima de pulgadas) = **0.433 "**

R : Radio interior del elemento. (Pulgadas) = **31.4961" = 800 mm**

$$MAWP = \frac{S * E * T req}{R + 0.6 * T req}$$

$$MAWP = \frac{20.000 \text{ (PSI)} * 0.85 * 0.433 \text{ "}}{31.4961" + 0.6 * 0.433"}$$

$$MAWP = 231.799 \text{ PSI}$$

El MAWP calculado confirma la presión máxima a la que el estanque puede trabajar de forma segura, asegurando que su diseño cumple con los requisitos operativos y normativos, garantizando la integridad estructural del equipo y la seguridad en la operación.

4.5.5. Porcentaje de corrosión acumulada

El porcentaje de corrosión acumulada de un recipiente a presión es un indicador que mide el deterioro relativo del espesor de la pared debido a la corrosión, comparando el material perdido con el margen de corrosión diseñado. Este porcentaje es clave para evaluar la integridad estructural y proyectar la vida útil del recipiente.

$$\% \text{ corrosión acumulada} = \frac{((\text{Espesor nominal} - \text{espesor menor medido}) * 100)}{\text{Maxima corrosion permitida}}$$

Figura 4-27: Formula de % de corrosión acumulada.
Fuente: Guía de Integridad Mecánica, Marcelo Quiroz Neira

Donde:

Espesor nominal: (Espesor nominal de pared del estanque) = **12 mm = 0.472"**

Espesor menor medido:(Menor lectura de las mediciones tomadas) = **11.37 mm = 0.448"**

Maxima corrosion permitida : (Corrosión permitida según tablas maximum test pressure (corrosión allowance) = **0.0625**

$$\% \text{ corrosi3n acumulada} = \frac{((\text{Espesor nominal} - \text{espesor menor medido}) * 100)}{\text{Maxima corrosi3n permitida}}$$

$$\% \text{ corrosi3n acumulada} = \frac{((0.472'' - 0.448'') * 100)}{0.0625}$$

$$\% \text{ corrosi3n acumulada} = 38.399$$

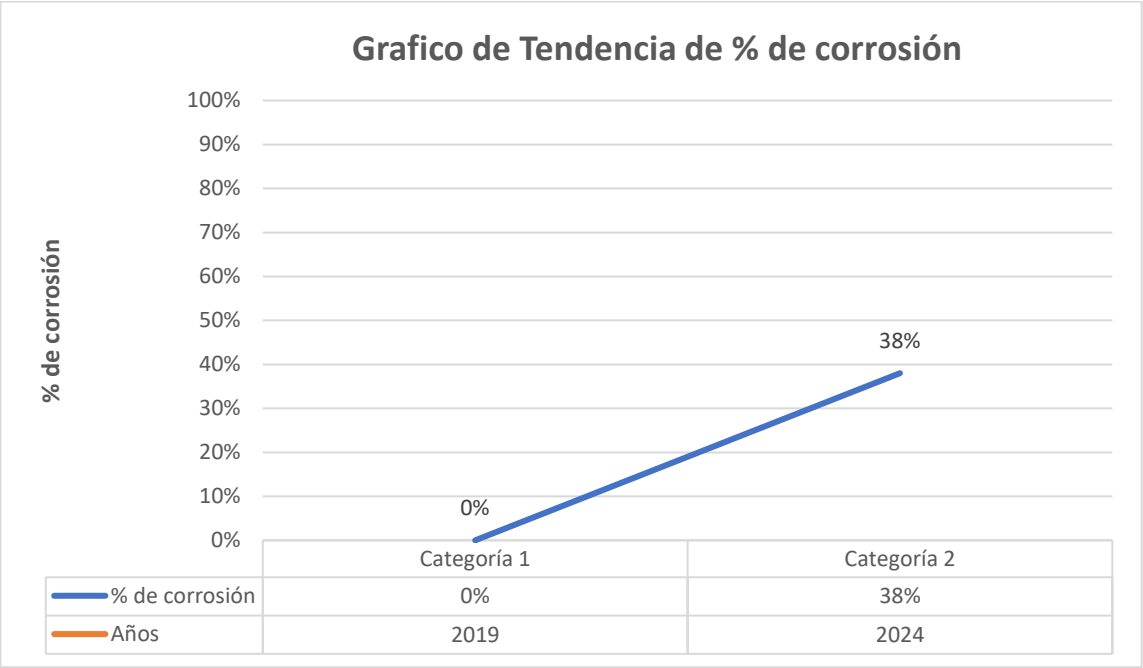


Gráfico 4-1: Grafico de tendencia de porcentaje de corrosi3n.
Fuente: Elaboraci3n propia.

4.5.6. Conclusi3n y recomendaciones

Con base en los resultados obtenidos que se compararon y analizaron con los valores de diseño y los criterios de aceptaci3n normativos (ASME,API 510). En general, el equipo cumple con los requisitos operativos y normativos de diseño. Por lo que se puede garantizar que el equipo cumplirá con su vida útil esperada bajo condiciones normales de operaci3n, asegurando un funcionamiento seguro, eficiente y garantizando la integridad estructural y la seguridad en la operaci3n.

Por otro lado, el grafico nos muestra la evidencia en cuanto a tendencias de perdida de material, en zonas específicasy, la corrosi3n acumulada se encuentra en 38% de la corrosi3n permitida, lo que no requiere de atenci3n inmediata, pero sí se recomienda la implementaci3n de un programa de inspecci3n periódica y frecuente

para las áreas identificadas, planificando a largo plazo las estrategias de mantenimiento.

De igual manera se recomienda usar tecnología avanzada de ensayos no destructivos, como ultrasonido automatizado con el objetivo de monitorear en línea el equipo y obtener mediciones precisas sobre corrosión y evitar errores. Registrando detalladamente las mediciones, cálculos, gráficos y observaciones para facilitar el seguimiento y la trazabilidad de las condiciones del equipo en futuros análisis. De igual forma se recomienda proporcionar capacitación al personal técnico sobre métodos de medición de espesores, análisis de datos y criterios de aceptación según norma ASME Y API 510.

En conclusión, podemos decir que es seguro trabajar con el estanque hasta el 100% de la corrosión acumulada, ya que el ingeniero de diseño considera este sobre espesor de seguridad con los parámetros de operación establecidos como temperatura, presión, entre otros. Este enfoque asegura que el equipo continúe operando dentro de los límites seguros, maximizando su vida útil y reduciendo los riesgos de fallas imprevistas.

4.6. Registro de medición de espesores de cañería

Se generó un informe (anexo H) para el registro de las mediciones de espesores de cañería, con sus respectivos datos técnicos y con el objetivo de monitorear y garantizar la integridad mecánica de la cañería, analizando y calculando el T requerido, velocidad de corrosión a largo plazo (LT) y la vida remanente de la cañería. Comparando los valores de espesor medidos con los valores de diseño y los criterios de aceptación establecidos por la normativa API 570.

Se procede a llevar a cabo la medición de espesores por ultrasonido, con los puntos ya definidos y marcados según la guía de “Localización de Puntos de Medición”, junto con la cantidad de mediciones a registrar. Se preparó y calibró el equipo de ultrasonido y se limpió la superficie del recipiente a medir, finalmente se procede a la toma de datos y registro de mediciones realizadas con su respectiva fecha, las cuales se muestran a continuación a través del informe antes mencionado.

CRISTALES DIALUM		REGISTRO DE MEDICIÓN DE ESPESORES DE CAÑERÍA		Informe N° :						
DATOS DE LA LINEA										
Línea : línea de aire auto clave		Inspector : Juan hablo Saez		Fecha : 06/09/2024						
Desde : compresor de aire		Hasta : Estanque de almacenamiento		Fluido : Aire						
Site : Dialum		Longitud : 32,5 M		Calibre : 40						
tag : PIP-UTL-Z1005		Aislación : no figura		Diámetro Nominal : 3 "						
Año de Fabricación : No registra			Espesor Nominal Espesor de pared : 0,216 "							
Material de fabricación : A-106 Grado B			Shedule : 40							
REGISTRO DE MEDICIÓN DE ESPESORES										
Punto de inspección	Diseño original			Espesor Crítico	06-09-2024		/	/	/	/
	Diam. Nom	Esp. Nom	Esp. Orig		Espesor	Corrosión				
1	88,9	5,49			5,45					
2	88,9	5,49			5,42					
3	88,9	5,49			5,30					
4	88,9	5,49			5,35					
5	88,9	5,49			5,50					
6	88,9	5,49			5,27					
7	88,9	5,49			5,32					
8	88,9	5,49			5,50					
9	88,9	5,49			5,42					
10	88,9	5,49			5,42					
11	88,9	5,49			5,27					
12	88,9	5,49			5,33					
13	88,9	5,49			5,22					
14	88,9	5,49			5,30					
15	88,9	5,49			5,35					
16	88,9	5,49			5,33					
17	88,9	5,49			5,37					
18	88,9	5,49			5,37					
19	88,9	5,49			5,38					
20	88,9	5,49			5,42					

Figura 4-28: Registro de medición de espesores de cañería

Fuente: Elaboración propia

4.6.1. Cálculo del espesor de pared requerido

El espesor de pared requerido se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$T_{requerido} = \frac{P * D}{2 * (S * E * W + P * Y)}$$

Figura 4-29: Formula de Espesor de pared requerido
Fuente: CODIGO ASME B31.3 para tuberías a presión **Sección 304.1.1**

Datos técnicos de la cañería:

Material = **A -106 grado B**

Temperatura operación = Work temp min. = - 10 ° C = **14 °F**

Work temp máx. = + 50 ° C = **122 °F**

P = Presión de diseño interna del fluido = **16 bar = 232.06 PSI**

S = Esfuerzo permitido (PSI) Tabla A.1 = **20.0 = 20.000 PSI**

E = Eficiencia de la junta o factor de calidad. Tabla A-1A o A-1B (adimensional) = **1.00** (valor entregado por el fabricante, especificado en el plano del equipo)

D = Diámetro **exterior** del elemento (pulgadas) = **3.5" = 88.9 mm**

W = Factor de reducción de resistencia en junta soldada. Tabla 302.3.5(adimensional)= **1**

Y = Coeficiente por tabla 304.1.1. Valido pata $t < D/6$ y para materiales mostrados. El valor de “Y” puede ser interpolado para temperaturas intermedias, (adimensional) = **0.4**

T = Espesor de pared requerido (milésima de pulgadas) =

$$T_{requerido} = \frac{P * D}{2 * (S * E * W + P * Y)}$$

$$T_{requerido} = \frac{232.06 \text{ (PSI)} * 3.5''}{2 * (20.000 \text{ (PSI)} * 1 * 1 + 232.06 \text{ (PSI)} * 0.4)}$$

$T_{requerido} = 0.020'' = 0.508 \text{ mm}$

El cálculo del espesor de pared requerido indica que la cañería diseñada es capaz de resistir las condiciones operativas especificadas, incluyendo presión, temperatura y posibles factores de corrosión, siempre que se utilice un espesor igual o superior a valor calculado (mm/pulgadas). Esto asegura la integridad estructural y la seguridad del sistema dentro de los parámetros establecidos por las normas aplicables, como API 570".

4.6.2. Cálculo de Velocidad de corrosión a largo plazo (LT)

$Velocidad\ de\ corrosi3n\ (LT) = \frac{t_{inicial} - t_{actual}}{tiempo\ entre\ t_{inicial}\ y\ t_{actual}\ (a\tilde{nos)}}$

Figura 4-30: Formula de Velocidad de corrosi3n a largo Plazo
Fuente: C3digo de tuberías de inspecci3n: API 570.

T inicial: (Espesor nominal de pared) = **5.49 mm = 0.216"**
T final : (Menor lectura de las mediciones tomadas) = **5.15 mm = 0.202"**
Tiempo : (Año de construcci3n de la planta: 2019 hasta 2024) = **5 ańos**

$$LT = \frac{T\ inicial - T\ actual}{Tiempo}$$

$$LT = \frac{0.216\ " - 0.202\ "}{5\ Ańos}$$

$$LT = 0.0028\ (\" /ańo) = 0.071\ (mm/ańo)$$

Según el resultado se puede apreciar una velocidad de corrosi3n baja entorno al tiempo analizado y dentro de los márgenes aceptables, se puede concluir que el material seleccionado es adecuado para el entorno operativo durante su vida útil, sin comprometer su integridad estructural bajo condiciones normales de operaci3n. Lo que

implica menores riesgos de falla debido a la corrosión, es por eso que se proyecta como suficiente para cumplir con los plazos de operación planificados sin necesidad de intervenciones importantes en el corto o mediano plazo.

De igual forma se recomienda establecer planes de inspección para monitorear el deterioro y realizar mantenimientos preventivos.

4.6.3. Cálculo de vida remante

$$Vida\ remanente = \frac{t_{actual} - t_{requerido}}{velocidad\ de\ corrosión}$$

Figura 4-31: Formula de Velocidad de corrosión a largo Plazo
 Fuente: Código de tuberías de inspección API 570

Donde:

T actual: (Menor lectura de las mediciones tomadas) = **5.15 mm = 0.202"**

T requerido: (Espesor de pared mínimo requerido) = **0.020"**

Velocidad de corrosión (LT): = **0.0028 (" /año)**

$$Vida\ remante = \frac{T\ actual - T\ requerido}{Velocidad\ de\ corrosión\ (LT)}$$

$$Vida\ remante = \frac{0.202\ " - 0.020"}{0.0028\ (" /año)}$$

$$Vida\ remante = \text{65 años}$$

$$Vida\ remante\ Media: 65 / 2 = 32.5\ años$$

La vida remanente de la cañería nos proporciona una visión crítica sobre el tiempo estimado en que este tramo de cañería puede seguir operando de manera segura bajo las condiciones actuales, sin necesidad de reemplazarla o generar reparaciones inmediatas. El resultado refleja que el tramo de cañería cumple con las normativas de seguridad establecidas por API 570. A partir del resultado obtenido, se pueden decir que la vida remanente es adecuada, Esto asegura la integridad estructural y la seguridad

del sistema dentro de los parámetros operacionales establecidos, pero de igual manera se recomienda mantener las inspecciones periódicas para asegurar la validez del cálculo a lo largo del tiempo.

4.6.4. Porcentaje de corrosión acumulada

$$\% \text{ corrosión acumulada} = \frac{((\text{Espesor nominal} - \text{espesor menor medido}) * 100)}{\text{Maxima corrosion permitida}}$$

Figura 4-33: Formula de % de corrosión acumulada.
Fuente: Guía de Integridad Mecánica, Marcelo Quiroz Neira

Donde:

Espesor nominal: (Espesor nominal de pared) = **5.49 mm = 0.216"**

Espesor menor medido:(Menor lectura de las mediciones tomadas) = **5.15 mm = 0.202"**

Maxima corrosion permitida : (Corrosión permitida según tablas maximum test pressure (corrosión allowance) = **0.0625**

$$\% \text{ corrosión acumulada} = \frac{((\text{Espesor nominal} - \text{espesor menor medido}) * 100)}{\text{Maxima corrosion permitida}}$$

$$\% \text{ corrosión acumulada} = \frac{((0.216" - 0.202") * 100)}{0.0625}$$

$$\% \text{ corrosión acumulada} = \textcolor{red}{22.4 \%}$$

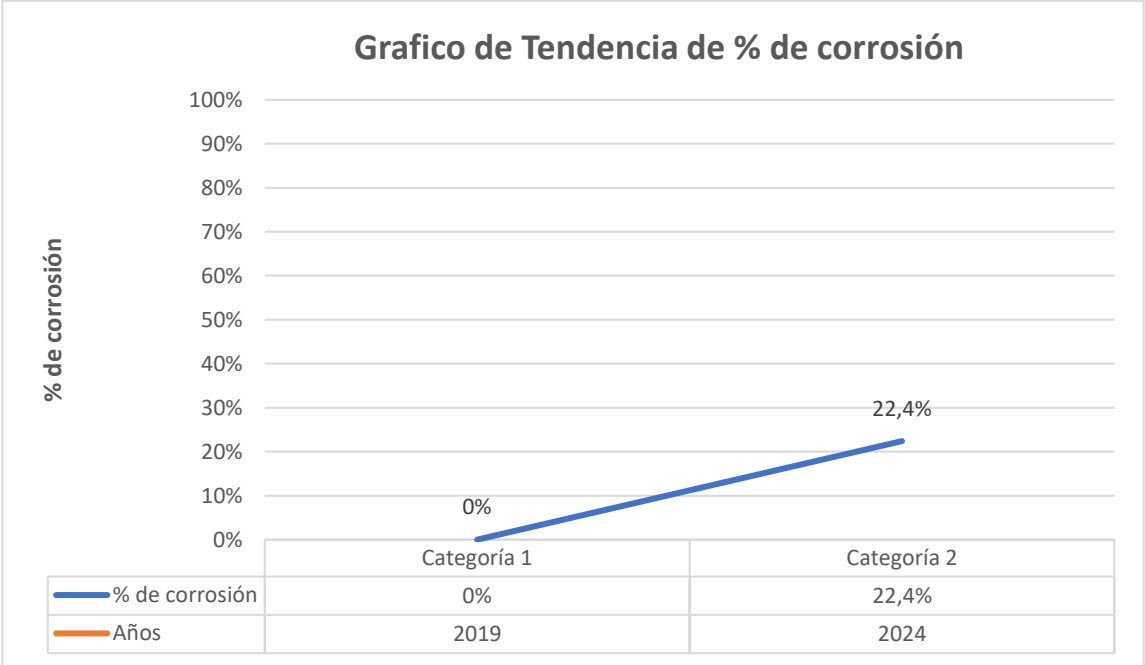


Gráfico 4-2: Grafico de tendencia de porcentaje de corrosión.
Fuente: Elaboración propia.

4.6.5. Conclusión y recomendaciones

Con base a los resultados obtenidos que se compararon y analizaron con los valores de diseño y los criterios de aceptación normativos (ASME,API 570). En general, los tramos seleccionados de la cañería cumplen con los requisitos operativos y normativos de diseño. Por lo que se puede garantizar que la cañería cumplirá con su vida útil esperada bajo condiciones normales de operación, asegurando un funcionamiento seguro y eficiente garantizando su integridad estructural y la seguridad en la operación.

Por otro lado, el grafico nos muestra la evidencia en cuanto a tendencias de perdida de material, en zonas específicas, la corrosión acumulada se encuentra en un 22.4% de la corrosión permitida, lo que no requiere de atención inmediata, pero sí se recomienda la implementación de un programa de inspección periódica y frecuente, planificando a largo plazo las estrategias de mantenimiento.

De igual manera se recomienda monitorear la línea de cañería y obtener mediciones precisas sobre corrosión. para facilitar el seguimiento y la trazabilidad de las condiciones de la cañería en futuros análisis. De igual forma se recomienda proporcionar capacitación al personal técnico sobre métodos de medición de espesores, análisis de datos y criterios de aceptación según norma ASME Y API 570.

En conclusión, podemos decir que es seguro trabajar con la línea de cañera hasta el 100% de la corrosión acumulada, ya que el ingeniero de diseño considera este sobre espesor de seguridad con los parámetros de operación establecidos como temperatura, presión, entre otros. Este enfoque asegura que la cañería continúe operando dentro de los límites seguros, maximizando su vida útil y reduciendo los riesgos de fallas imprevistas.

4.7. Registro del procedimiento para la inspección de dispositivos de alivio de presión

Se generó un informe (anexo L) para el registro de los dispositivos de alivio, con sus respectivos datos técnicos y con el objetivo de monitorear y garantizar la integridad mecánica del o los dispositivos de alivio, como válvulas de seguridad y válvulas de alivio todo esto a través los criterios de aceptación establecidos por la normativa API 576. Que nos detalla sobre como inspeccionar y evaluar los dispositivos de alivio de presión incluyendo inspección visual y pruebas no destructivas, garantizando que los dispositivos de alivio estén en condiciones óptimas y operen de manera confiable y eficiente durante su funcionamiento.

Por otro lado, Se solicitó al gerente de la planta el informe de inspección de la válvula de seguridad en donde se sacó la válvula y se llevó a un banco de prueba (figura 4-36) el cual fue ejecutado por la empresa RECV AL LTDA. En donde se probó y calibró el dispositivo.

La inspección de dispositivos de alivio de presión es fundamental para garantizar la seguridad y el cumplimiento de normativas. A continuación, se detalla la planificación que se usó para realizar esta inspección:

4.7.1. Planificación de la Inspección a válvula de alivio

- Junto con el gerente Se localizo y identifico el dispositivo en el plano de la planta y se comprobó su número de identificación, ubicación y equipo asociado, en conjunto se consultaron los registros históricos de mantenimiento e inspección. Y sus respectivos datos técnicos de operación.
- Se reviso el rango de presión de apertura, rango de temperatura de acuerdo con la hoja de datos del fabricante y los requisitos del equipo.
- Se inspecciono de forma visual el estado externo del dispositivo como daños mecánicos, corrosión, grietas, fugas visibles o acumulación de suciedad o residuos.
- Se confirma que el dispositivo tiene su placa de identificación legible.

CRISTALES DIALUM[®]		FRECUENCIAS DE INSPECIÓN DE DISPOSITIVOS DE ALIVIO		
Identificación del equipo (TAG)	Fecha de instalación	Frecuencias de Inspección	Fecha de la última inspección	Fecha de la Próxima Inspección
VLV-ALV-Z1-001	12-01-2019	Sistemas de Alivio Inspección de Discos de Ruptura – 5 años como máximo	No Aplica	No Aplica
		Inspección de PVRV/ERV/ Venteos de Explosiones – 5 años como máximo.	No Aplica	No Aplica
		Inspección/Prueba en Taller de PSVs – 10 años como máximo.	29-11-2023	29-11-2033
	/ /	Sistemas de Alivio Inspección de Discos de Ruptura – 5 años como máximo	/ /	/ /
		Inspección de PVRV/ERV/ Venteos de Explosiones – 5 años como máximo.	/ /	/ /
		Inspección/Prueba en Taller de PSVs – 10 años como máximo.	/ /	/ /

Figura 4-35: Registro de frecuencias de inspección de dispositivos de alivio

Fuente: Elaboración propia

4.7.2. Prueba operativa en taller:

- Desmontar el equipo implica sacarlo y conectarlo aún banco de prueba en donde se aplica presión debajo del punto de apertura para verificar la ausencia de fugas y además se inspecciona asientos y componentes internos para asegurar un sellado adecuado y que no allá desgaste, corrosión o acumulación de sedimentos.

4.7.3. Informe de inspección de la válvula de seguridad

La presente inspección se llevó a cabo con el propósito de evaluar el estado operativo y funcional de una válvula de seguridad instalada en un sistema de proceso crítico. Las válvulas de seguridad son componentes fundamentales en la protección de equipos de presión, diseñados para liberar el exceso de presión de manera segura y evitar daños al sistema, posibles fugas o riesgos para el personal y el medio ambiente.

El informe detalla la prueba de funcionalidad y análisis técnico conforme a las normativas aplicables, como API 576, API 527 y ASME BPVC, Sección VIII. Además, se incluye una evaluación de las condiciones externas e internas del dispositivo, el registro de las pruebas de presión de ajuste y cierre y un análisis de su cumplimiento con los parámetros de diseño especificados.

El objetivo principal de este informe es determinar si la válvula cumple con los requisitos de operación segura y confiable, identificar cualquier anomalía que pueda comprometer su desempeño y proporcionar recomendaciones para asegurar la integridad del sistema protegido.

A continuación, se puede ver el informe de inspección de la válvula de seguridad enviada a banco de prueba:

Safety Valve Inspection Report

Certificate no.6841

Date29-11-2023

Job no.4979

ClientDIALUM

Valve data

Set pressure (cold)14.0 bar

Tag. No.DIA-01

Serial No.10883959

ManufacturerLESER

Type / Model4412.4544

SizeDN50 x DN80

RatingPN40 x PN16

Nozzle / Orifice

Fluid

Test data

Set pressure test

Found set pressure14.0 bar

Reseat pressure12.8 bar

ResultPasó

Test methodASME SECCION VIII - API 527

Seat tightness test

Leakage0 Burbujas/min.

Test pressure12.7 bar

ResultPasó

Pressure [bar]

20

18

16

14

12

10

8

6

4

2

0

0

10

20

30

40

50

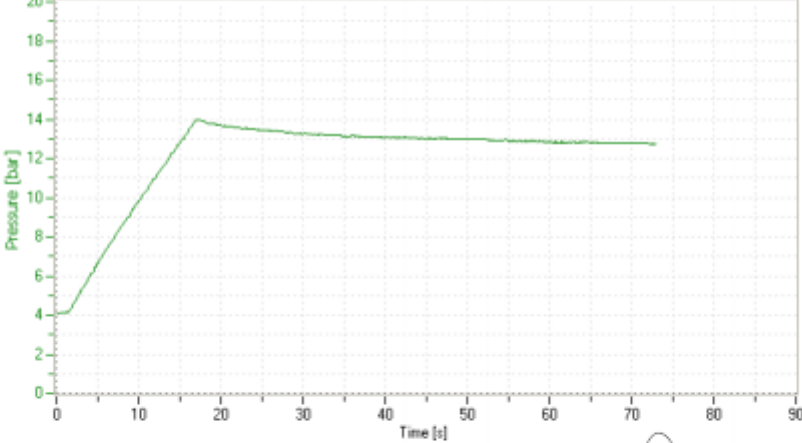
60

70

80

90

Time [s]



Tested by

Name

EDUARDO MENDEZ

Date

Signature

Inspected by

Name

RECVAL LTDA
JOSE FUENTES LUNA

Date

29-11-2023

Signature



1. Durante disparo de peritaje válvula abrió a 14.6 Bar y cierre a 13.6 Bar. Blow Down 6.8%.

2. Se realizó peritaje de prueba de hermeticidad a 13.4 Bar, sin detectar fugas.

3. Válvula con apertura de peritaje fuera de Norma ASME SECCION VIII, y prueba de hermeticidad según Norma API 527.

4. Válvula se ajustó según requerimientos del Cliente a 14.0 Bar y cierre a 12.8 Bar según Norma ASME SECCION VIII permaneciendo totalmente hermética posterior al disparo. Blow Down 8.5%.

5. Se realizó prueba de hermeticidad a 12.7 Bar, sin detectar fugas, según Norma API 527.

Figura 4-36: Informe de inspección de la válvula de seguridad

Fuente: empresa RECVAL LTDA

76

4.7.4. Conclusión y recomendaciones

En conclusión, del informe que envió la empresa RECVAl LTDA , se identifica y se aprecia que la válvula de seguridad durante el disparo de peritaje abrió a 14.6 Bar y cerró a 13.6 Bar. Con un Blow Down de 6.8%, a su vez se realizó peritaje de prueba de hermeticidad a 13.4 BAR, sin detectar fugas lo que nos indica que la apertura de peritaje de la válvula esta fuera de la norma ASME SECCION VIII, y la prueba de hermeticidad si esta según la norma API527.

Posterior a esto la empresa Dialum Laminated Glass Concepción junto con los resultados obtenidos en el banco de prueba analizo y solicito a recval que se ajustara la válvula de seguridad a una apertura de 14.0 Bar y un cierre de 12.8 Bar quedando así normada según la norma ASME SECCION VIII. Se modificaron los parámetros y se generó nuevamente la prueba, la válvula permaneció totalmente hermética posterior al disparo y con un Blow Down de un 8.5%, la prueba de hermeticidad se realizó a los 12.7 Bar, sin detectar fugan según Norma API 527. Quedando así la válvula de seguridad normada y certificada por recval.

Se recomienda que en base a la prueba de banco realizada que se mandó a hacer el 29/11/2023 le correspondería una nueva inspección hidráulica antes de la fecha del 29/11/2028 o a menos que la válvula abra y quede flameando lo que significa que no cierre completamente por lo que se tendría que sacar nuevamente para mandarla a taller.

4.8. EVALUACIÓN ECONÓMICA

La evaluación económica de este proyecto tiene como objetivo evaluar los costos, beneficios y viabilidad económica de la implementación de un Plan de Mantenimiento Predictivo de Integridad Mecánica en los equipos estáticos de la Planta Dialum Concepción. Este plan abarca estanques de proceso, sistemas de cañerías y dispositivos de alivio, con el fin de garantizar la seguridad operativa, optimizar la vida útil de los equipos, cumplir con las normativas aplicables y evitar paradas no planificadas.

4.8.1. Objetivos del Plan

- Minimizar costos operativos y de reparación, enfocándose en la detección temprana de defectos.

- Incrementar la confiabilidad operativa, asegurando la continuidad de los procesos críticos.
- Cumplir con normativas internacionales y estándares legales, como ASME BPVC, API 570, API 576 , entre otras.
- Reducir los riesgos de fallas catastróficas y garantizar la seguridad de los trabajadores y las instalaciones.

4.9. Costos del Plan de Mantenimiento Predictivo.

Concepto	Costo estimado (USD)	Detalle
Capacitación del personal	10.000	Formación en metodologías predictivas y normativas aplicables.
Adquisición de equipos de medición	40.000	Equipos como ultrasonido, detectores de corrosión y software de análisis.
Desarrollo de procedimientos técnicos	6.000	Documentación de protocolos de inspección y mantenimiento.

4.10. Costos Operativos Anuales

Concepto	Costo estimado (USD)	Detalle
Inspecciones regulares	25.000	Evaluación de espesores, revisión de válvulas y cañerías.
Mantenimiento preventivo programado	15.000	Reacondicionamiento de componentes según datos predictivos.
Análisis de datos y elaboración de informes.	10.000	Procesamiento de resultados y recomendaciones.

4.11. Costos Potenciales por No Implementar el Plan.

Impacto	Costo potencial (USD)	Detalle
Falla de equipos críticos	70.000	Pérdida de producción y costos de reparación de emergencia.
Multas por incumplimiento normativo	50.000	Sanciones legales por inspección deficiente.
Riesgos asociados a la seguridad	No cuantificable	Daños a personas, equipos y medio ambiente.

4.12. Beneficios estimados

Ahorro en Costos Operativos

- Reducción del mantenimiento correctivo no planificado: 40% menor.
- Optimización de los recursos técnicos y financieros.

Mejora en Disponibilidad Operacional

- Incremento de la confiabilidad operativa de los equipos del 85% al 95%.
- Reducción de paradas no planificadas.

Cumplimiento Normativo y Reducción de Riesgos

- Prevención de sanciones legales mediante el cumplimiento de normativas internacionales.
- Reducción significativa de los riesgos asociados a fallas catastróficas.

4.13. cotización por servicio de medición de espesores de una empresa externa

En el marco del desarrollo del presente proyecto, se considera fundamental incluir los costos asociados a los servicios necesarios para llevar a cabo la inspección técnica de los equipos estudiados. El servicio de medición de espesores por ultrasonido se destaca como una técnica clave en el mantenimiento predictivo y la evaluación de la integridad mecánica de sistemas industriales, tales como tanques de almacenamiento, sistemas de tuberías y equipos estáticos.

La inclusión de esta cotización no solo refleja la viabilidad técnica del proyecto, sino que también proporciona un enfoque práctico para estimar los recursos económicos requeridos para implementar el programa de inspección en condiciones reales. En este apartado, se presentará un análisis detallado de la cotización, desglosando los costos por servicio, los tiempos estimados de ejecución y los criterios que justifican la selección de este método de inspección. El objetivo es evaluar la relación costo-beneficio del servicio, considerando la precisión, rapidez y confiabilidad que ofrece el método de ultrasonido para la identificación de espesores críticos y zonas afectadas por la corrosión. Este análisis

contribuye a reforzar la base técnica y económica del proyecto, alineando los resultados académicos con las prácticas industriales.

A continuación, se presenta un parte de la cotización realizada por la empresa Fierro Arquitectos Consultores Inspecciones Industriales.



FIERRO
INSPECCIONES



FIERRO
ARQUITECTOS

- Se contempla orden de compra para dar inicio a los trabajos y facturación con pago a 30 días, previa a una evaluación económica del cliente y una vez entregado el informe con los resultados.

9.- REAJUSTE:

- No se considera reajuste.

10.- PRECIOS UNITARIOS:

Ítem	Descripción	Unid.	Cant.	P. Unit.	P. Total
1	Valor por Jornada del servicio de inspección mediante medición de espesores por ultrasonido. Horario 9:00 a 17:00 horas considerando 1 hora para el almuerzo.	1	1	850.000.-	850.000.-

12.- VALIDEZ DE LA OFERTA:

- 15 días.

13.- IMPUESTOS:

- Los precios indicados son netos y no consideran el 19% por concepto de I.V.A.

14.- IMPRESIÓN DE DOCUMENTOS:

- Considerando las exigencias medioambientales y la tendencia de muchas organizaciones en disminuir la documentación impresa, nuestra organización declara que sólo entrega informes en archivos digitales.

Sin otro particular lo saluda cordialmente.



María Inés Fierro Muñoz
Fierro Arquitectos Consultores
Inspecciones Industriales

Av. Vicuña Mackenna N°836, Ñuñoa, Santiago de Chile
josefierro@fierroarquitectos.cl / jfierro@gmail.com
2 2635 2658 / 9 897 89 834
FIERROARQUITECTOS.CL / FIVEN.CL

Figura 4-35: Cotización Empresa Fierro Arquitectos Consultores

Fuente: Elaboración maría Inés Fierro Muños

81

4.14. Conclusiones

- Los costos iniciales y operativos son significativamente menores que las pérdidas potenciales por fallas o paradas no planificadas.
- El plan contribuye al cumplimiento normativo, reducción de riesgos operativos y mejora en la disponibilidad de los equipos.

Este análisis demuestra que el mantenimiento predictivo en la Planta Dialum Concepción no solo mejora la confiabilidad operativa, sino que también genera ahorros significativos a mediano y largo plazo.

4.15. Recomendaciones

- Priorizar la implementación del plan en equipos críticos, como estanques de proceso y dispositivos de alivio.
- Realice una auditoría inicial para establecer una línea base de las condiciones actuales de los equipos.
- Monitorear periódicamente los indicadores clave del plan (costos, beneficios, disponibilidad).
- Revisar y ajustar el plan según los resultados obtenidos y la evolución de las condiciones operativas.

BIBLIOGRAFÍA

- Manual del mantenimiento, Alejandro Pistarelli, 2010.
- Técnicas del mantenimiento, F. Monchy, 2004.
- Biblioteca virtual Dialum Laminated Glass, Maximiliano Quiroz Dapelo, 2022.
- Repositorio USM.
- Apuntes “Guía de integridad mecánica de equipos capítulo N°1”, Marcelo Quiroz Neira, 2022.
- Apuntes “Guía de integridad mecánica de equipos capítulo N°2”, Marcelo Quiroz Neira, 2022.
- Apuntes “Guía de integridad mecánica de equipos capítulo N°3”, Marcelo Quiroz Neira, 2022.
- Apuntes “Guía de corrosión acumulada”, Marcelo Quiroz Neira, 2022.
- Apuntes “Inspección y control de la mantención”, Victor Valdebenito Cartes, 2020.
- Código ASME para tuberías a presión, B31.3 – 2008.
- Código de inspección de recipientes a presión: Inspección en servicio, clasificación, reparaciones y alteraciones API 510 décima edición, mayo 2014.
- Código de inspección, reparación, alteración y renovación de sistemas de tuberías en servicio API 570 cuarta edición diciembre 2001
- Código de prácticas de inspección para componentes y sistemas de tuberías API 574 cuarta edición noviembre 2016.
- Código de inspección de dispositivos de alivio de presión API 576 segunda edición diciembre 2000.

ANEXOS

Anexo A

CRISTALES DIALUM		DATOS DE REGISTRO DE INSPECCIÓN DE RECIPIENTES A PRESIÓN	
Fecha de formulario	31-07-2024	Dueño o usuario	Planta dialum
Número formulario	0-0-1	Nombre del recipiente	
Número de identificación (TAG) : RCP-STG-Z1-001			
Datos de identificación			
Nombre del proceso	Autoclave	Corrosión permitida	
Ubicación	Zona 01	Tipo de aislación	
Posición (Vertical u Horizontal)	Vertical	Normativa aplicable	Norma AD 2000
Diámetro nominal Interno (M)	1,6 M	Códigos de Peligro de la NFPA	
Longitud nominal /Altura (M)	5,57 M	Número de dueño o usuario	1
Especificación del material del cuerpo (grado o tipo)	ASTM-516 Gr60	Número de Jurisdicción/National Board	
Especificación del material del cabezal (grado o tipo)	ASTM-516 Gr60	Fabricante	OKS Otto Klein Gmbh
Material Interno	ASTM-516 Gr61	N° serie fabricante	633155
Espesor nominal del cuerpo	12	Fecha de fabricación	
Espesor nominal del cabeza	12	Código de construcción	
Temperatura de diseño	+ 50°C	Tipo de cabezales	elíptico
Presión máxima admisible de trabajo	232,06 PSI	Tipo de junta	
Máxima presión de prueba	333,587 PSI	Clase de Flanje	SDT 40
Presión de diseño (PSI)	232,06 PSI	Clase de cuplas	
Presión de ajuste de válvula de alivio	255,27 PSI	N° entradas de hombre	1
Capacidad Total Nominal en metros cúbicos [m3]	10 (m³)	Peso del estanque	2500 Kg
Datos de operación			
Fecha de instalación	2019	Temperatura de trabajo (°F)	25°C
Tiempo en servicio	5 Años	Presión de trabajo (PSI)	16 bar
Producto almacenado / fluido	aire	Peso específico	

Anexo B

				CHECK LIST INSPECCIÓN VISUAL RECIPIENTES A PRESIÓN		Informe N° : 01		
DATOS DEL EQUIPO								
Equipo	recipiente a presion		Denominación		RCP-STG-Z1-001		Fluido	aire
Site	Autoclave		Inspector				Fecha	31-07-2024
CHECK LIST INSPECCIÓN VISUAL EXTERNA								
A = ACCEPTABLE				I = INACEPTABLE		NA = NO APLICA		
Ítem		A	I	NA	Comentarios		Fotos	
1	Placa de identificación	A						
2	Cabezales	A						
3	Casco	A						
4	Boquillas de conexión de cañerías	A						
5	Soldadura	A						
6	Puesta a Tierra	A						
7	Pernos de Anclaje	A						
8	Líneas de Drenaje	A						
9	Indicadores	A						
10	Fundaciones	A						
11	Flanjes	A						
12	Elementos contra Incendio	A						
13	Dispositivos de Alivio de Presión	A						
14	Recipientes de plástico reforzado con fibra de vidrio	A						
15	Parches de reparación de fugas	A						
16	Escaleras, Plataformas y Soportes soldados al recipiente	A						

Anexo C

CRISTALES DIALUM		DATOS DE REGISTRO DE INSPECCIÓN DE SISTEMAS DE CAÑERIAS	
Fecha de formulario	06-12-2024	Dueño o usuario	Dialum
Número formulario	1	Nombre de la línea	línea de aire auto clave
Número de identificación (TAG) : PIP-UTL-Z1005			
Datos de identificación			
Nombre del proceso	Autoclave	Corrosión permitida	
Ubicación		Tipo de aislación	
Posición (Vertical u Horizontal)	Vertical	Normativa aplicable	
Diámetro nominal Interno (mm)	83,41 mm	Códigos de Peligro de la NFPA	
Longitud nominal (M)	32,5 M	Número de dueño o usuario	
Especificación del material del cuerpo (grado o tipo)	A-106 Grado 60	Número de Jurisdicción / National Board	
Calibre o Schedule	40	Fabricante	
Espesor de pared de la cañería	5,49 mm	N° serie fabricante	
Temperatura de diseño	-10°c + 50°C	Fecha de fabricación	
Presión máxima admisible de trabajo	232,06 PSI	Código de construcción	
Máxima presión de prueba	333,587 PSI	Tipo de Junta	
Presión de diseño (PSI)	232,06 PSI	Clase de Flanje	150 LBS
Presión de ajuste de válvula de alivio	203,053 PSI		
Capacidad Total Nominal en metros cúbicos [m3]			
Datos de operación			
Fecha de instalación	12-01-2019	Temperatura de trabajo (°F)	20°C
Tiempo en servicio	5 Años	Presión de trabajo (PSI)	16 bar
Producto almacenado / fluido	Aire		

Anexo D

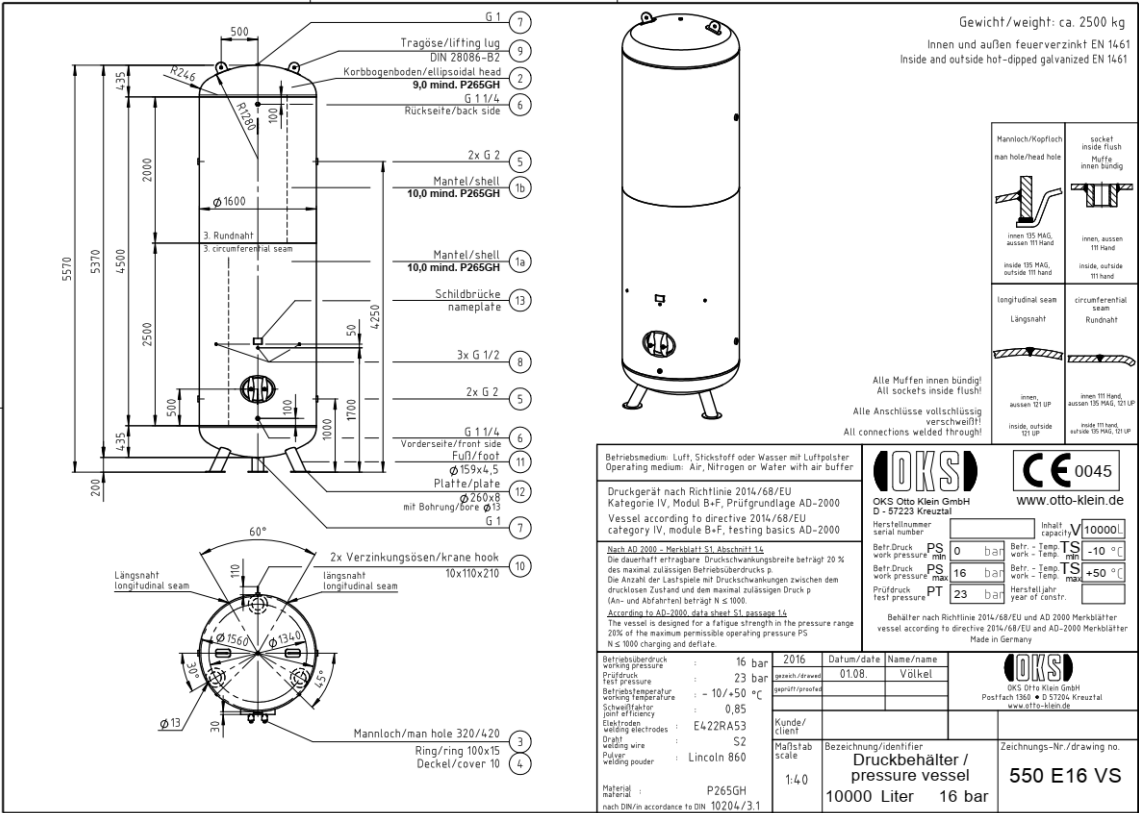
CRISTALES DIALUM			CHECK LIST INSPECCIÓN VISUAL DE SISTEMAS DE CAÑERÍAS			Informe N° :	
DATOS DE LA LINEA							
Línea	línea de aire auto clave		Inspector			Fecha	06 / 09 / 2024
Desde	Compresor de aire		Hasta	Estanque de almacenamiento		Fluido	Aire
Site	Dialum		Longitud	32,5 M		Calibre	40
Año de Fabricación	2019		Aislación	No figura		Diámetro Nominal	3 "
Material de fabricación	A-106 Grado B			Espesor Nominal	0,216 "		
CHEC LIST INSPECCIÓN VISUAL							
A = ACCEPTABLE				I = INACEPTABLE		NA = NO APLICA	
Ítem		A	I	NA	Comentarios		Fotos
1	Recubrimientos			NA			
2	Componentes	A					
3	Soldaduras	A					
4	Flanjes, Pernos, tuercas y juntas	A					
5	Placas orificio			NA			
6	Soportes, fundaciones y columnas	A					
7	Pernos de Anclaje	A					
8	Instrumentos, válvulas y accesorios	A					
9	Protección Anticorrosiva	A					
10	Juntas Dieléctricas			NA			
11	Par o cupla galvánica	A					
12	Niples o derivaciones esbeltas	A					
13	Vibraciones o Pulsaciones	A					
14	Reparaciones o modificaciones	A					
15	Eventos, anomalías, fugas, irregularidades	A					
16	Inspección de Corrosión Bajo Aislación	A					
17							
18							
19							
20							

Anexo E

CRISTALES DIALUM	INFORME DE DISPOSITIVOS DE ALIVIO DE PRESIÓN	Informe N° :
DATOS DE IDENTIFICACIÓN DEL DISPOSITIVO DE ALIVIO DE PRESIÓN		
Dueño o Usuario : Dialum	Ubicación : Planta Dialum	Fluido : Aire
N° Dispositivo :	Inspector :	Fecha : 06/09/2024
Número de identificación (TAG) : DIA-01		
DATOS DE OPERACIÓN		DATOS DEL FABRICANTE
Presión de operación (PSI) :	Fecha de intalación : 2019	
Temperatura de operación (c°) :	Marca : Leser	
Equipo protegido :	N° De Modelo : 10883959	
Posición (Vertical o Horizontal) : vertical	Material de fabricación :	
Sustancias almacenadas /Involucradas :	Fabricante :	
Presión de Tarado (PSI): 14,6 Bar	Codigo de contrucción	
Presión de Cierre (PSI): 13,6 Bar	Peso (Kg) :	
Presión Maxima en Servicio (PSI):		
Temperatura Máxima De Servicio (c°) :		
Presión de Alivio (PSI) : 14,0 Bar		
INFORME DE PRUEBAS PARA UN DISPOSITIVO DE ALIVIO DE PRESIÓN		
Fecha de prueba en banco : 29/11/2023		
Disparó a : 14,6 Bar		
Presión de ajuste (PSI) : 14,0 Bar		
Presión verificada (PSI): 14,0 Bar		
Si la presión de ajuste cambio , nueva presión de ajuste :		
Prueba utilizada : Peritaje y hermeticidad		
Condición : Atascada ☐ Con Perdida ☐ Corroída ☐		
Probado por : Recval LTDA		
Reparaciones :		
Comentarios : Válvula se ajustó según requerimientos del Cliente a 14.0 Bar y cierre a 12.8 Bar según Norma ASME SECCION VIII permaneciendo totalmente hermética posterior al disparo. Blow Down 8.5%.		

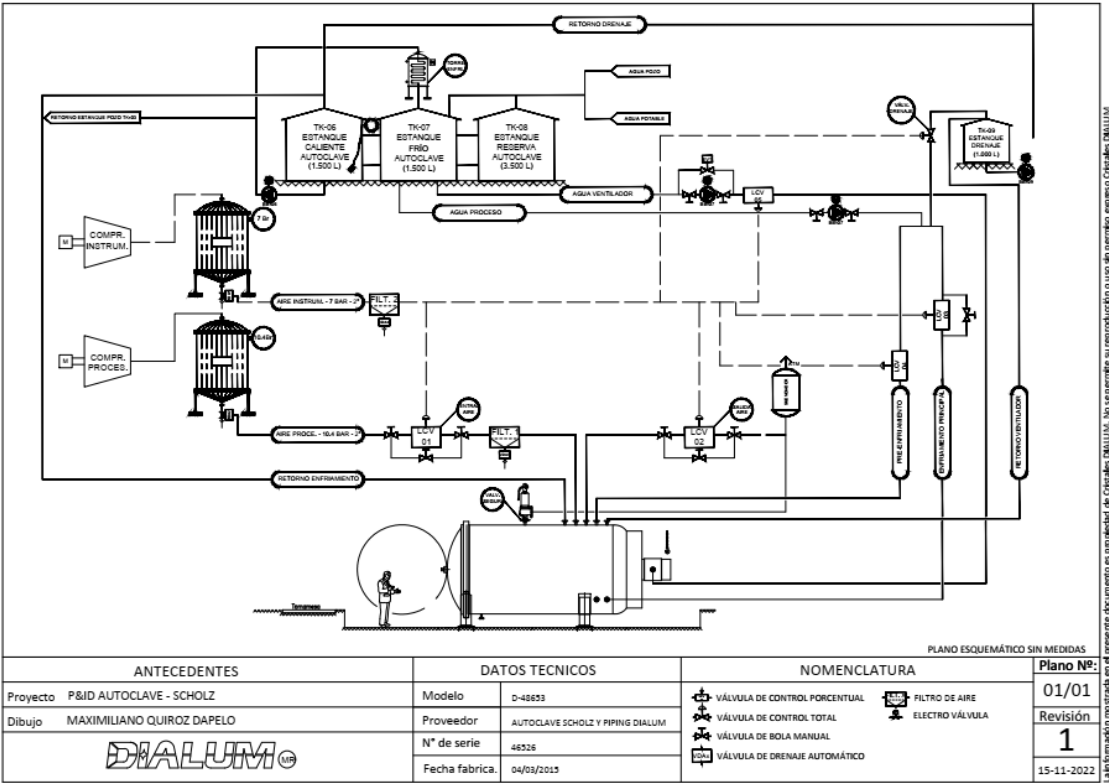
Anexo F

Plano de construcción de estanque

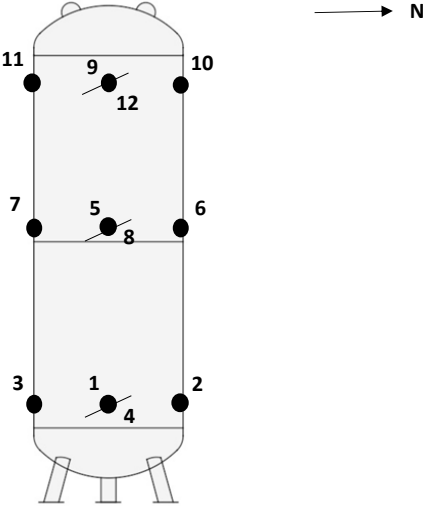


Anexo G

PYID auto clave



Anexo H

REGISTRO DE MEDICIÓN DE ESPESORES DE PCE												
Equipo N° : 633155		Schedule :		Corr. Permit :		Fecha : 22/04/2024						
Presión De Operación : 16 Bar				Temp. De Operación : -10°C / + 50°C				Material : ASTM-516 Gr60				
Operador :				Equipo de Insp. :				Fecha de Insp. : 22/04/2024				
 												
Punto de inspección	Diseño original			Espesor Crítico	22-04-2024		/		/		/	
	Diam. Nom	Esp. Nom	Esp. Orig		Espesor	Corrosión	Espesor	Corrosión	Espesor	Corrosión		
1	1624	12	12		11,49							
2	1624	12	12		11,43							
3	1624	12	12		11,77							
4	1624	12	12		11,45							
5	1624	12	12		11,39							
6	1624	12	12		11,41							
7	1624	12	12		11,38							
8	1624	12	12		11,44							
9	1624	12	12		11,46							
10	1624	12	12		11,51							
11	1624	12	12		11,47							
12	1624	12	12		11,50							
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												

Anexo I

ASME B31.3-2008

Table A-1 Basic Allowable Stresses in Tension for Metals¹ (Cont'd)
Numbers in Parentheses Refer to Notes for Appendix A Tables; Specifications Are ASTM Unless Otherwise Indicated

Material	Spec. No.	P-No. or S-No. (5)	Grade	Notes	Min. Temp., °F (6)	Specified Min. Strength, ksi		Min. Temp. to 100	200	300	
						Tensile	Yield				
Carbon Steel											
Pipes and Tubes (2)											
A 285 Gr. A	A 134	1	...	(8b)(57)	B	45	24	15.0	14.6	14.2	
A 285 Gr. A	A 672	1	A45	(57)(59)(67)	B	45	24	15.0	14.6	14.2	
Butt weld	API 5L	S-1	A25	(8a)	-20	45	25	15.0	15.0	14.5	
Smls & ERW	API 5L	S-1	A25	(57)(59)	B	45	25	15.0	15.0	14.5	
...	A 179	1	...	(57)(59)	-20	47	26	15.7	15.0	14.2	
Type F	A 53	1	A	(8a)(77)	20	48	30	16.0	16.0	16.0	
...	A 139	S-1	A	(8b)(77)	A	48	30	16.0	16.0	16.0	
...	A 587	1	...	(57)(59)	-20	48	30	16.0	16.0	16.0	
...	A 53	1	A	(57)(59)	} B	48	30	16.0	16.0	16.0	
...	A 106	1	A	(57)							
...	A 135	1	A	(57)(59)							
...	A 369	1	FPA	(57)							
...	API 5L	S-1	A	(57)(59)(77)							
A 285 Gr. B	A 134	1	...	(8b)(57)	B	50	27	16.7	16.4	16.0	
A 285 Gr. B	A 672	1	A50	(57)(59)(67)	B	50	27	16.7	16.4	16.0	
A 285 Gr. C	A 134	1	...	(8b)(57)	A	55	30	18.3	18.3	17.7	
...	A 524	1	II	(57)	-20	55	30	18.3	18.3	17.7	
...	A 333	1	1	} (57)(59)	-50	55	30	18.3	18.3	17.7	
...	A 334	1	1								
A 285 Gr. C	A 671	1	CA55	(59)(67)	A	} 55	30	18.3	18.3	17.7	
A 285 Gr. C	A 672	1	A55	(57)(59)(67)	A						
A 516 Gr. 55	A 672	1	C55	(57)(67)	C						
A 516 Gr. 60	A 671	1	CC60	(57)(67)	C	60	32	20.0	19.5	18.9	
A 515 Gr. 60	A 671	1	CB60	} (57)(67)	B	60	32	20.0	19.5	18.9	
A 515 Gr. 60	A 672	1	B60								
A 516 Gr. 60	A 672	1	C60	(57)(67)	C	} 60	35	20.0	20.0	20.0	
...	A 139	S-1	B	(8b)	A						
...	A 135	1	B	(57)(59)	B						} 60
...	A 524	1	I	(57)							
...	A 53	1	B	(57)(59)	} B	60	35	20.0	20.0	20.0	
...	A 106	1	B	(57)							
...	A 333	} 1	6	(57)							
...	A 334			(57)							
...	A 369			(57)							
...	A 381	S-1	Y35	...	} A	-20					
...	API 5L	S-1	B	(57)(59)(77)							

Anexo J

Table 302.3.5 Weld Joint Strength Reduction Factor, <i>W</i>															
Steel Group	Component Temperature, <i>T_i</i> , °C (°F)														
	427 (800)	454 (850)	482 (900)	510 (950)	538 (1,000)	566 (1,050)	593 (1,100)	621 (1,150)	649 (1,200)	677 (1,250)	704 (1,300)	732 (1,350)	760 (1,400)	788 (1,450)	816 (1,500)
CrMo [Notes (1)–(3)]	1	0.95	0.91	0.86	0.82	0.77	0.73	0.68	0.64	...	...	...	...	...	...
CSEF (N + T) [Notes (3)–(5)]	...	...	...	1	0.95	0.91	0.86	0.82	0.77	...	...	...	...	...	...
CSEF [Notes (3) and (4)] (Subcritical PWHT)	...	...	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	...	...	...	...	...	...
Autogenous welds in austenitic stain- less grade 3xx, and N088xx and N066xx nickel alloys [Note (6)]	...	...	...	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Austenitic stainless grade 3xx and N088xx nickel alloys [Notes (7) and (8)]	...	...	...	1	0.95	0.91	0.86	0.82	0.77	0.73	0.68	0.64	0.59	0.55	0.5
Other materials [Note (9)]	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Anexo K

Table 304.1.1 Values of Coefficient *Y* for *t* < *D*/6

Materials	Temperature, °C (°F)					
	≤ 482					≥ 621
	(900 & Lower)	510 (950)	538 (1,000)	566 (1,050)	593 (1,100)	(1,150 & Up)
Ferritic steels	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7
Austenitic steels	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
Other ductile metals	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Cast iron	0.0	...	...	...	...	...

DOW RESTRICTED - For internal use only

Table 1 Dimensions and Weights of Welded and Seamless Wrought Steel Pipe (Cont'd)

NPS [Note (1)]	Customary Units			Identification [Standard (STD), Extra-Strong (XS), or Double Extra Strong (XXS)]	Schedule No.	DN [Note (2)]	SI Units		
	Outside Diameter, in.	Wall Thickness, in.	Plain End Weight, lb/ft				Outside Diameter, mm	Wall Thickness, mm	Plain End Mass, kg/m
2	2.375	0.065	1.61	...	5	50	60.3	1.65	2.39
2	2.375	0.083	2.03	...	...	50	60.3	2.11	3.03
2	2.375	0.109	2.64	...	10	50	60.3	2.77	3.93
2	2.375	0.125	3.01	...	30	50	60.3	3.18	4.48
2	2.375	0.141	3.37	...	...	50	60.3	3.58	5.01
2	2.375	0.154	3.66	STD	40	50	60.3	3.91	5.44
2	2.375	0.172	4.05	...	...	50	60.3	4.37	6.03
2	2.375	0.188	4.40	...	...	50	60.3	4.78	6.54
2	2.375	0.218	5.03	XS	80	50	60.3	5.54	7.48
2	2.375	0.250	5.68	...	...	50	60.3	6.35	8.45
2	2.375	0.281	6.29	...	...	50	60.3	7.14	9.36
2	2.375	0.344	7.47	...	160	50	60.3	8.74	11.11
2	2.375	0.436	9.04	XXS	...	50	60.3	11.07	13.44
2½	2.875	0.083	2.48	...	5	65	73.0	2.11	3.69
2½	2.875	0.109	3.22	...	...	65	73.0	2.77	4.80
2½	2.875	0.120	3.53	...	10	65	73.0	3.05	5.26
2½	2.875	0.125	3.67	...	...	65	73.0	3.18	5.48
2½	2.875	0.141	4.12	...	...	65	73.0	3.58	6.13
2½	2.875	0.156	4.53	...	...	65	73.0	3.96	6.74
2½	2.875	0.172	4.97	...	...	65	73.0	4.37	7.40
2½	2.875	0.188	5.40	...	30	65	73.0	4.78	8.04
2½	2.875	0.203	5.80	STD	40	65	73.0	5.16	8.63
2½	2.875	0.216	6.14	...	...	65	73.0	5.49	9.14
2½	2.875	0.250	7.02	...	...	65	73.0	6.35	10.44
2½	2.875	0.276	7.67	XS	80	65	73.0	7.01	11.41
2½	2.875	0.375	10.02	...	160	65	73.0	9.53	14.92
2½	2.875	0.552	13.71	XXS	...	65	73.0	14.02	20.39
3	3.500	0.083	3.03	...	5	80	88.9	2.11	4.52
3	3.500	0.109	3.95	...	...	80	88.9	2.77	5.88
3	3.500	0.120	4.34	...	10	80	88.9	3.05	6.46
3	3.500	0.125	4.51	...	...	80	88.9	3.18	6.72
3	3.500	0.141	5.06	...	...	80	88.9	3.58	7.53
3	3.500	0.156	5.58	...	...	80	88.9	3.96	8.30
3	3.500	0.172	6.12	...	...	80	88.9	4.37	9.11
3	3.500	0.188	6.66	...	30	80	88.9	4.78	9.92
3	3.500	0.216	7.58	STD	40	80	88.9	5.49	11.29
3	3.500	0.250	8.69	...	...	80	88.9	6.35	12.93
3	3.500	0.281	9.67	...	...	80	88.9	7.14	14.40
3	3.500	0.300	10.26	XS	80	80	88.9	7.62	15.27
3	3.500	0.438	14.34	...	160	80	88.9	11.13	21.35
3	3.500	0.600	18.60	XXS	...	80	88.9	15.24	27.68
3½	4.000	0.083	3.48	...	5	90	101.6	2.11	5.18
3½	4.000	0.109	4.53	...	...	90	101.6	2.77	6.75
3½	4.000	0.120	4.98	...	10	90	101.6	3.05	7.41
3½	4.000	0.125	5.18	...	...	90	101.6	3.18	7.72
3½	4.000	0.141	5.82	...	...	90	101.6	3.58	8.65
3½	4.000	0.156	6.41	...	...	90	101.6	3.96	9.54
3½	4.000	0.172	7.04	...	...	90	101.6	4.37	10.48
3½	4.000	0.188	7.66	...	30	90	101.6	4.78	11.41