UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

PROPUESTA DE MEJORA PARA PLAN DE MANTENIMIENTO EN TANQUES HIDRONEUMÁTICOS AMORTIGUADORES DEL GOLPE DE ARIETE EN ZONA LITORAL SUR.

Trabajo de Titulación para optar al Título
de Ingeniero en Mantenimiento Industrial

Alumno:
Sebastián Ariel Cabrera Catalán
Profesor Guía:
Mg. Ing. Alejandro Elías Badilla Bello

2023

RESUMEN

En la Zona Litoral Sur de la Región de Valparaíso, se enfrenta una problemática relacionada con el mantenimiento de los sistemas de amortiguación del Golpe de Ariete. Estos sistemas son de vital importancia para el funcionamiento adecuado de las líneas de abastecimiento de agua potable y aguas servidas, especialmente en las estaciones elevadoras de la zona.

Lamentablemente, los Tanques Hidroneumáticos amortiguadores del Golpe de Ariete carecen de un plan de mantenimiento que asegure su correcto funcionamiento y la resolución de imprevistos durante su operación.

Por esta razón, se ha decidido implementar un Análisis Cualitativo de Modos Y Efectos de Falla (FMECA) para evaluar las condiciones de los THAGA, priorizar las tareas de mantenimiento y determinar las acciones a ejecutar en el plan de mantenimiento, tomando en cuenta su nivel de criticidad y riesgo.

La ejecución de acciones de mantenimiento correctivas nos permitirá programar el reemplazo de elementos específicos para cada tipo de THAGA, mientras que las acciones de inspección de espesores estarán basadas en el Código API 510 de Recipientes a Presión, que establece cálculos de variables de corrosión para guiar nuestras decisiones.

Se ha realizado un análisis de costos que incluye todas las acciones definidas por el FMECA, presentando los costos individuales de cada actividad y los costos globales del plan de mantenimiento, lo que nos ha permitido determinar cuál es el sistema más viable económicamente.

Con este enfoque, buscamos mejorar la confiabilidad y el rendimiento de los sistemas de amortiguación del Golpe de Ariete, asegurando un suministro de agua y manejo de aguas servidas más efectivo y seguro para la Zona Litoral Sur.

ÍNDICE

RESUMEN....2

ÍNDICE....4

SIMBOLOGÍA....7

INTRODUCCIÓN....8

OBJETIVOS....10

Objetivo General:....10

Objetivos específicos:....10

1. ANTECEDENTES GENERALES....1

1.1 ANTECEDENTES EMPRESA ESVAL S.A....1

1.2 DATOS GENERALES DE LA COMPAÑÍA....1

1.3 ORGANIGRAMA....2

1.4 UBICACIÓN DE LA ZONA....3

1.5 CONTEXTO OPERACIONAL....4

1.6 PROBLEMÁTICA....5

1.6.1 Golpe de Ariete....6

1.7 TIPOS DE DISPOSITIVOS AMORTIGUADORES HIDRONEUMÁTICOS CONTRA EL GOLPE DE ARIETE....10

1.7.1 Tanques Hidroneumáticos de Amortiguación contra el Golpe de Ariete Automatizado....10

1.7.2 Tanque Hidroneumático Amortiguador del Golpe de Ariete con Diafragma11

1.7.3 Tanque Hidroneumático Contra el Golpe de Ariete Simple....12

1.7.4 Tanque Hidroneumático Amortiguador de Golpe de Ariete con sistema de Hydroballs. 13

1.8 ANTECEDENTES DE LOS THAGA....14

2. PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO....17

2.1 ACTUAL SITUACIÓN DE LOS THAGA....17

2.2 METODOLOGIA DE ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA, EFECTOS DE FALLA Y CRITICIDAD. 21

2.2.1 Análisis Funcional de los Equipos 22

2.2.2 Modos de falla 24

2.2.3 Efectos de Falla 26

2.2.4 Propuestas de acciones determinadas para el plan de mantenimiento 32

3.EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO 47

3.1 IMPLMENTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO SEGÚN FMECA 47

3.2 ANÁLISIS DE COSTOS DE PLAN DE MANTENIMIENTO 50

3.2.1 Costos de Medición y Registro de Presión 50

3.2.2 Costos de actividad de Limpieza mecánica y Pintura anticorrosiva 51

3.2.3 Costos de Medición y Registro de Espesores. 52

3.2.4 Costos de Reposición de la Membrana 53

3.2.5 Costos de actividad recambio de balones perforados. 55

3.2.6 Costos mantenimiento compresor de THAGA automatizado. 56

3.2.7 Costos globales del Plan de mantenimiento 57

3.2.8 Segundo Escenario de Costos globales, reemplazando los sistemas de Hydroballs por sistema Automatizado. 58

CONCLUSIONES 60

BIBLIOGRAFÍA 61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Organigrama……..2
Figura 1-2. Región de Valparaíso y su división en sectores operacionales……..3
Figura 1-3. Ubicación de Spap San Juan Centro Administrativo del Litoral Sur……3
Figura 1-4. Esquema de Presiones en el fenómeno Golpe de Ariete producido por un cierre de válvula ……. 7
Figura 1-5. Esquema de posición del Tanque Hidroneumático en un sistema hidráulico de impulsión……...7
Figura 1-6. Esquema representativo de los vacíos en las líneas de tuberías con cambios de direcciones…….8
Figura 1-7. Tanque Hidroneumático Amortiguador de Golpe de Ariete Automatizado…….11
Figura 1-8. Tanque Hidroneumático Amortiguador del Golpe de Ariete con Diafragma……..12
Figura 1-9: Tanque Hidroneumático Amortiguador del Golpe de Ariete Simple……..13
Figura 1-10: Tanque Hidroneumático Amortiguador de Golpe de Ariete con Hydroballs…….14
Figura 2-1 Placa de Información de THAGA…….35
Figura 2-2: Áreas de monitoreo de inspección de zonas adyacentes a las soldaduras de soportes y entradas…….37
Figura 2-3: Áreas de monitoreo de inspección en el cilindro de tanque, en sentido circunferencial y sentido longitudinal…….39
Figura 2-4: Áreas de monitoreo de inspección en el cabezal de tanque……..40
Figura 2-5: Ejemplo Corrosión Externa……..41
Figura 2-6: Cambio de Membrana Rota……..42
Figura 2-7. Ejemplo THAGA con Hydroballs……44
Figura 2-8. Balones sin presión, extraídos del interior de un THAGA con Hydroballs……...44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Número de Plantas en Zona Litoral Sur…….15
Tabla 1-2 Tipo THAGA en PAS y PAP…….15
Tabla 2-1. Estados de THAGA en PAP según su tipo……19
Tabla 2-1. Estados de THAGA en PAS según su tipo……19
Tabla 2-3. Análisis Funcional de los THAGA……25
Tabla 2-4. Modos de falla de los THAGA……..27
Tabla 2-5. Efectos de falla de los tipos de THAGA……29
Tabla 2-6. Tabla de Severidad…….31
Tabla 2-7. Tabla de Ocurrencia……...32
Tabla 2-8. Tabla de Detección…….33
Tabla 2-9. Tabla de Rangos Según su riesgo Crítico……..33
Tabla.3-1. Mejora a través de acciones preventivas FMECA…….44

Tabla.3-2. Costos de medición y registro de presión de los THAGA……45
Tabla.3-3. Costos de actividad de limpieza mecánica y pintura anticorrosiva……...47
Tabla.3-4. Costos de actividad de medición y registro de espesor de THAGA…….48
Tabla.3-5. Costos de Actividad de Repsosición de Membrana en THAGA con Diafragma….49
Tabla.3-6. Valores de las Membranas “Varem” según la capacidad volumétrica del Tanque...49
Tabla.3-7. Costos de Actividad Reposición de Balones perforados……..50
Tabla.3-8. Cotización de la empresa Hydroballs para la entrega de su servicio…….51
Tabla.3-9. Costos la Actividad preventiva del compresor en THAGA automatizado……51
Tabla.3-10.Costos de Actividad correctiva para compresor en THAGA automatizado……52
Tabla.3-11.Costos Globales del Plan de Mantenimiento……52
Tabla.3-12.Costos Globales del Plan de Mantenimiento (Escenario 2)……..53

SIMBOLOGÍA

GA	: Golpe de Ariete
THAGA	: Tanque Hidroneumático Amortiguador de Golpe de Ariete.
PTAP	: Planta de Tratamiento de Agua Potable.
PTAS	: Planta de Tratamiento de Aguas Servidas.
SPAP	: Sistema de Producción de Agua Potable.
EEAS	: Estaciones Elevadoras de Aguas Servidas.
EEAP	: Estaciones Elevadoras de Agua Potable
PAS	: Plantas de Agua Potable
PAP	: Plantas de Aguas Servidas.
NTD	: Non destructive Testing
CML	: Condition Monitoring Location

INTRODUCCIÓN

Hoy en día los servicios sanitarios que abastecen las grandes ciudades son primordiales para el desarrollo de la vida y el buen funcionamiento de las urbanizaciones. En la región de Valparaíso, ESVAL S.A es la empresa responsable del sistema de servicios sanitarios que abastece a gran parte de la zona, por lo tanto, es primordial asegurar una operación continua de sus procesos.

Los servicios sanitarios en las ciudades se encargan de producir y distribuir el agua potable, así como también la recolección de aguas servidas y sus posteriores tratamientos. Estos procesos se hacen a través de complejos sistemas hidráulicos, en los cuales intervienen diversos equipos, estos están sometidos a los parámetros de operación las 24 horas y deben estar siempre disponibles, por lo que es fundamental tener un sistema de gestión de mantenimiento.

Durante los procesos realizados en los sistemas sanitarios urbanos, ocurren fenómenos impredecibles y catastróficos en las tuberías. El Golpe de Ariete es uno de los fenómenos más recurrentes y el más perjudicial para las tuberías e instalaciones hidráulicas.

El Golpe de Ariete es un evento que se origina por un cambio repentino de presión en un fluido líquido, producido por la interrupción súbita de su caudal, sometiendo al fluido a una detención repentina, que deriva en sobrepresiones y presiones de vacío. Este fenómeno tiene como principales causas el cierre imprevisto de válvula y la detención total de la bomba de impulsión. Los cambios de direcciones y la separación que existe en las columnas de agua aumentan la magnitud del Golpe de Ariete. Las consecuencias específicas en este rubro a causa de este acontecimiento son: fugas en cañerías de gran dimensión, las cuales transportan agua potable y aguas servidas, daños en equipos de impulsión y control de procesos, desplazamientos de tuberías fuera de sus soportes, vibraciones en el sistema, incidentes y/o accidentes con personal involucrado y daños parciales o permanente de los sistemas de procesos o servicios involucrados.

Este fenómeno se debe atenuar con sistemas de amortiguación que permitan que los cambios de presión, sean absorbidos, liberando la energía del Golpe de Ariete en un espacio donde se pueda disipar. Los Estanques Hidroneumáticos son ideales para esta función ya que son recipientes que resisten altas presiones y trabajan con amortiguación neumática.

En la Quinta Región la Compañía Sanitaria Esval lleva a cabo los distintos procesos del servicio sanitario, es por ello cuenta con muchas instalaciones de EEAP EEAS, PTAP; PTAS; y SPAP: donde es necesario utilizar sistemas de protección contra el Golpe de Ariete, con el fin de proteger sus redes de transporte por tuberías, siendo el objetivo principal evitar fallas y cumplir con la continuidad del servicio sanitario para las distintas zonas. Para la protección del GA se cuenta con Tanques Hidroneumáticos de diferentes tipos, es por ello que nace la necesidad de un correcto estudio y mantenimiento de estos dispositivos.

En la Zona litoral sur de la Región el mantenimiento es esporádico e ineficiente, los que se traduce en indisponibilidad de los equipo y también de la línea de impulsión esto a la vez produce gastos de mantención que no está programada.

OBJETIVOS

Objetivo General:

- Proponer plan de mantenimiento a sistemas de amortiguación del Golpe de Ariete en plantas elevadoras de aguas potables y aguas servidas, mediante aplicación de herramientas de gestión de mantenimiento para mitigar imprevistos en el servicio.

Objetivos específicos:

- Estudiar técnicamente los diferentes sistemas de tanques hidroneumáticos contra el Golpe de Ariete mediante antecedentes técnicos.

- Evaluar los sistemas de amortiguación del Golpe de Ariete a través de herramientas de gestión del mantenimiento, indicando puntos de mejora al sistema y priorización de actividades.

- Elaborar propuesta de plan de mantenimiento para los diferentes equipos, determinando un estado de costos, evaluando cual es el mejor sistema de tanque hidroneumático contra el Golpe de Ariete.

CAPITULO I: ANTECEDENTES GENERALES, Y PRESENTACION DE LA PROBLEMATICA

1. ANTECEDENTES GENERALES

Los antecedentes generales que se presentan son referentes a la empresa, pero también los antecedentes de los equipos y de la problemática presentada.

1.1 ANTECEDENTES EMPRESA ESVAL S.A.

Esval S.A. es la Compañía de servicio encargada de realizar los procesos para la producción de agua potable y distribuirla a toda la región de Valparaíso, junto con esta actividad es también responsable tratar las aguas servidas producidas en la V Región para su tratamiento antes del desecho o reincorporación a los afluentes cercanos. La empresa realiza su actividad en las áreas urbanas de la Región de Valparaíso, a excepción de sectores concesionados por el sector municipal o alguna entidad privada.

Esta empresa fue creada en 1989 por la Corporación de Fomento de la producción y el Fisco de Chile donde da comienzo a su servicio y actividad en la región. En diciembre del año 1999 Esval se convierte en la primera empresa sanitaria en abrirse a la incorporación de capital privado, por medio de un proceso de licitación internacional. Aguas Puerto (Enersis 72% y Anglian Water Chile 28%), se adjudicó el 40% de la propiedad de la empresa.

La Superintendencia de Servicios Sanitarios regula la actividad de la ESVAL .S.A. con el fin de garantizar a la población, que los servicios prestados cumplan con la calidad, cantidad y los cobros estimados. Además de poder ocupar el recurso del agua de forma que sea sostenible en el tiempo y asegurar la sustentabilidad con los tratamientos y disposición de las aguas residuales.

1.2 DATOS GENERALES DE LA COMPAÑÍA

Razón Social	: Esval S.A.
Nombre Comercial	: Esval
Rut	: 76.000.739-0
Tipo De Sociedad	: Sociedad Anónima Abierta

Inscripción en Registro de Valores : N° 1118 del 27 de enero de 2014

Dirección : Cochrane 751, Valparaíso, Chile

Teléfono : (56-32)2209000

Código Postal : 2370020

Correo Electrónico : infoesval@esval.cl

Página Web : www.esval.cl

- Misión

Mejorar la calidad de vida de las personas, contribuyendo al desarrollo regional, con un equipo comprometido con la excelencia en la gestión integral del agua.

- Visión

Ir más allá de las expectativas de nuestros clientes, generando valor en forma sostenible.

- Valores

Eficiencia, Compromiso, Transparencia y Empatía.

1.3 ORGANIGRAMA

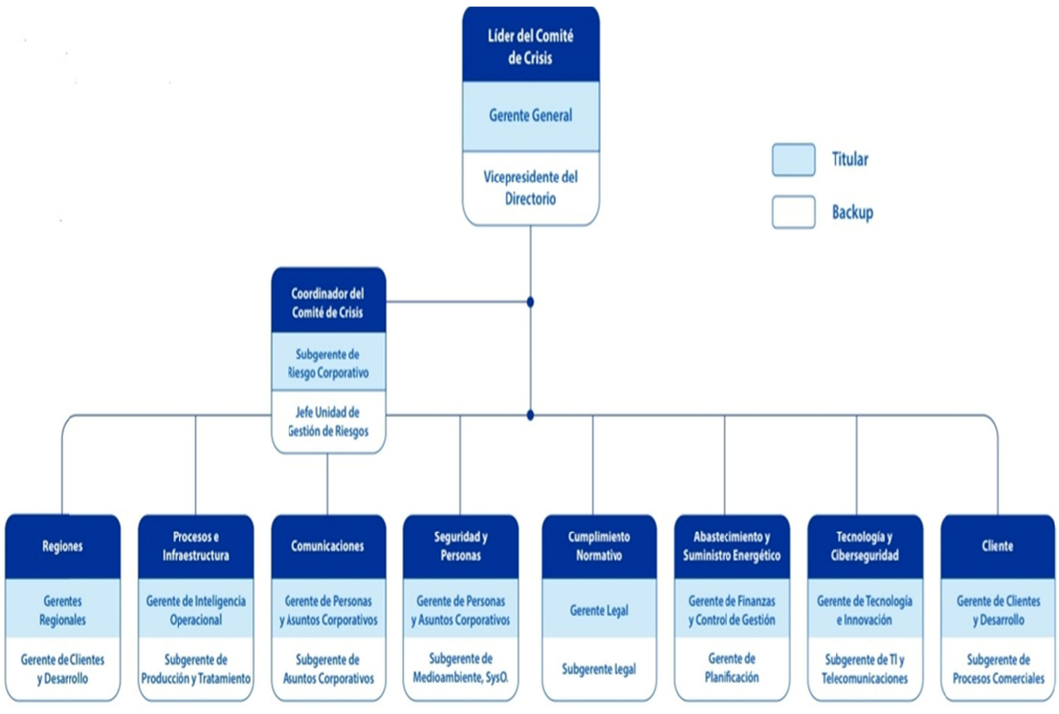


Figura 1-1 Organigrama

Fuente: Memoria de Esval 2023

1.4 UBICACIÓN DE LA ZONA



Figura 1-2. Región de Valparaíso y su división en sectores operacionales

Fuente: Memoria de Esval 2016

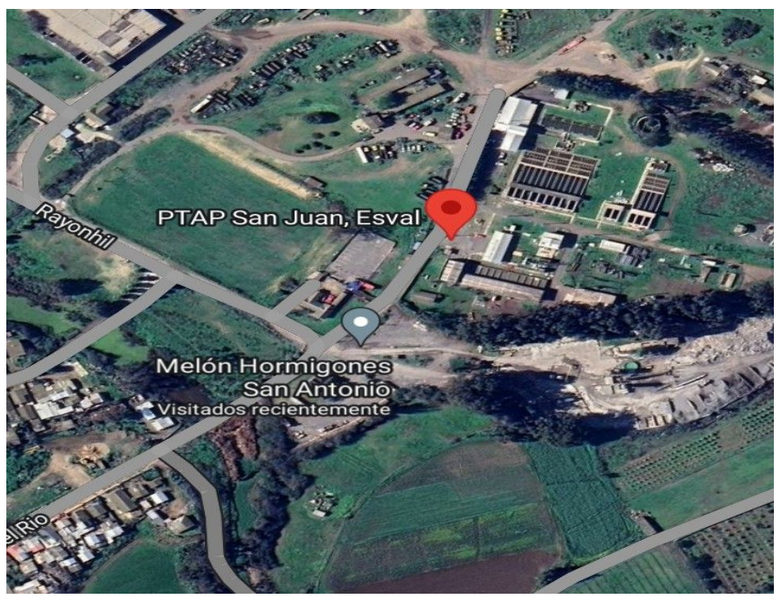


Figura 1-2: Ubicación de Spap San Juan Centro Administrativo del Litoral Sur

Fuente: Imagen de Google Maps versión 2023

La Región de Valparaíso se divide en siguientes provincias que sirven para dividir operacional y administrativamente las diferentes plantas de Esval, la provincia en la que se realizará el plan de mantenimiento para los tanques hidroneumáticos es la provincia de San Antonio, correspondiente a la zona de Litoral sur como se puede

observar en la Figura 1-2 y en la Figura 1-3 se aprecia la ubicación vía satélite de la central administrativa de la zona Litoral Sur, Planta Sistema de Producción de Agua Potable San Juan.

1.5 CONTEXTO OPERACIONAL

Esval S.A. posee una macro red sanitaria que circula por toda la región de Valparaíso, la cual cuenta con más de 200 plantas de las cuales 68 se ubican en la zona del Litoral Sur. Estas plantas corresponden a estaciones elevadoras, tanto de agua potable como de aguas servidas y estaciones "Booster" que solo son de agua potable. Estas plantas son de vital importancia para el proceso del abastecimiento y correcto servicio sanitario de las ciudades.

El inicio de la producción de Agua potable comienza con el proceso de Captación donde se obtiene el agua que no es apta para el consumo humano, ésta se obtiene de fuentes superficiales como ríos, lagos, embalses y también se obtiene de fuentes subterráneas, sondajes, drenes , norias y punteras. Las principales cuencas hidrográficas que alimentan el suministro de la Región son el Río Maipo y el Río Aconcagua. El agua captada es por bombeo con tuberías de impulsión o por gravedad en tuberías de aducción hasta las instalaciones.

En las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP), se recurren a tratamientos físicos, químicos y microbiológicos, estos procesos están regidos por la norma chilena de agua potable NCH409, la cual fue oficializada el año 2005, garantizando la calidad del consumo humano.

Luego ocurren las etapas de transporte y almacenamiento el fluido es conducido a través de tuberías desde las PTAP hasta los estanques de almacenamiento o estanques de control que reservan el agua potable. A partir de ahí la conducción del agua impulsada de los estanques ubicados en lugares altos de esta manera la gravedad facilita la distribución de agua a las instalaciones domiciliarias e industriales. La distribución se realiza a través de las matrices de agua potable que permiten la llegada del agua a diferentes lugares por medio de arranques con medidores. La red cuenta con 4.748 Km de redes de distribución de agua potable, para entregar un suministro continuo.

Cuando el agua potable ha sido ocupada para fines domésticos, industriales u otro tipo de actividades, se denominan aguas servidas, también llamadas aguas negras o residuales. Estas aguas se transportan a través de un complejo sistema de red con colectores, cámaras de inspección, cámaras de ventosas, estaciones elevadoras entre otros. Esta red transporta las aguas hasta las plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS).

Una vez que las aguas llegan a las PTAS los sistemas y equipos ejecutan el proceso de descontaminación, en primer lugar se separan los sólidos de mayor tamaños a través de tamices mecánicos, posterior a eso se retira la materia orgánica a través de una degradación con bacterias, luego el lodo es separado del agua por decantación, el paso final es descontaminación con gas cloro y se descarga en fuentes superficiales como ríos y lagos, los lodos por su parte son usados en predios forestales y agrícolas o bien son desechados . Los procesos anteriormente mencionados deben cumplir con lo exigido por la normativa chilena DS90. Actualmente la red de alcantarillado cuanta con más de 3596 Km.

1.6 PROBLEMÁTICA

La problemática en la Zona Litoral Sur está relacionada con el mantenimiento deficiente de las plantas del sistema sanitario existente. Específicamente, los Tanques Hidroneumáticos Amortiguadores contra el Golpe de Ariete (THAGA) no reciben un mantenimiento adecuado, lo que pone en riesgo su correcto funcionamiento y el proceso continuo en las impulsiones, tanto en las EEAP, SPAP o EEAS.

La falta de un mantenimiento apropiado de estas plantas provoca fallas anticipadas, lo que puede tener consecuencias críticas tanto para las personas como para el medio ambiente. El incidente ocurrido el 01 de enero de 2022 en la planta EEAS La Castilla es un claro ejemplo de las repercusiones negativas de esta situación. Durante este evento, se produjo una falla de perforación en el THAGA, lo que provocó un rebalse de la Cámara de Válvulas y, como resultado, aguas servidas contaminadas se derramaron en la playa EL Tabo, afectando a la playa y a las personas que la frecuentaban.

Como consecuencia de este derrame, las autoridades impusieron una multa de $600.000.000 por el vertido de aguas contaminadas en un lugar público. Además, este incidente afectó gravemente el medio ambiente debido a la contaminación y a la liberación de desechos no tratados en el mar.

Para evitar este tipo de situaciones en el futuro, es fundamental establecer un plan de mantenimiento adecuado y periódico para las plantas del sistema sanitario en la Zona Litoral Sur. El mantenimiento preventivo garantizará el correcto funcionamiento de los THAGA y otras instalaciones, evitando fallas que puedan tener consecuencias tan perjudiciales para la salud pública y el medio ambiente. Además, es crucial concienciar sobre la importancia de mantener estos sistemas en buen estado para evitar multas y daños a la comunidad y al ecosistema.

1.6.1 Golpe de Ariete

El Golpe de Ariete se origina con un cambio repentino en la velocidad del caudal en una tubería de transporte de fluidos, este hecho da como resultado una sobrepresión o una presión negativa. Estas presiones tienen magnitudes más elevadas que las resistencias a la presión de las tuberías por lo que hace este suceso muy nocivo y uno de los principales causantes de averías en las líneas de tuberías y sistemas hidráulicos. Cuando un caudal continuo es detenido repentinamente o su flujo desde su impulsión es detenido, la presión ejercida puede elevarse hasta 10 veces la magnitud de la presión normal de operación, causando diferentes daños ya sea a los circuitos de control, a los soportes por vibración, daños en las tuberías, daños a las bombas e incluso a fallas anticipadas por efecto de la cavitación.

La presión dinámica que existe en la tubería es interrumpida con un cierre de válvula rápido que interrumpe el caudal de trabajo, se genera un Golpe de Ariete que resulta en sobrepresiones y presiones negativas aumentan de manera radical pero terminan disipándose en el tiempo, Se puede observar el esquema de Golpe de Ariete en la Figura 1-4.

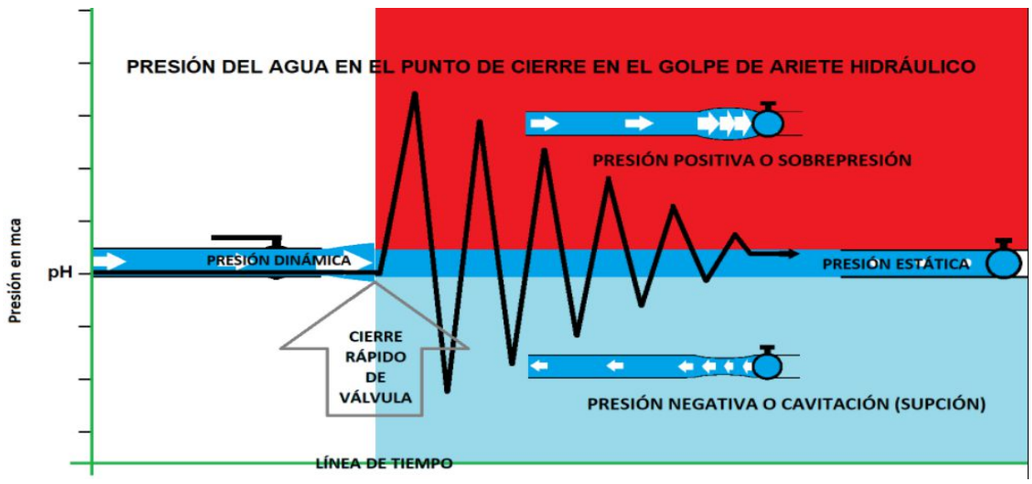


Figura 1-4: Esquema de Presiones en el fenómeno Golpe de Ariete producido por un cierre de válvula.

Fuente: https://bombariete.blogspot.com/2018/02/que-es-el-golpe-de-ariete-o-golpe-de.html"

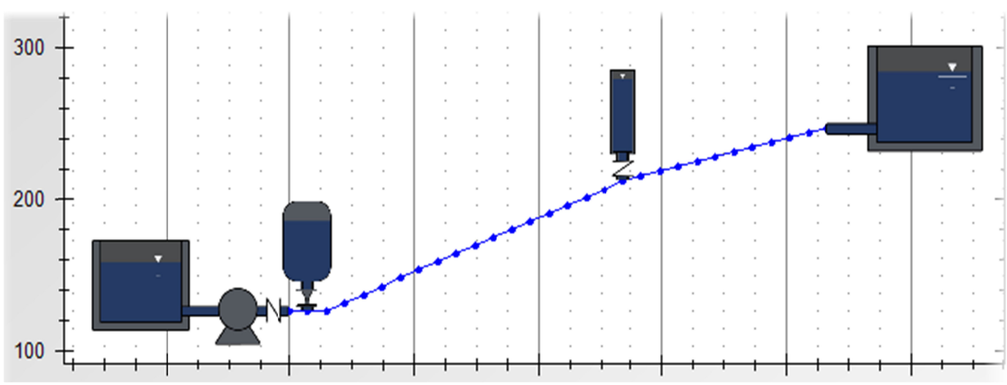


Figura 1-5: Esquema de posición del Tanque Hidroneumático en un sistema hidráulico de impulsión.

Fuente: www.hidrosoftware.com

Se puede apreciar en la Figura 1-5. La posición de un Hidroneumático en un sistema de impulsión para proteger la bomba y la válvula corte en caso de que la impulsión fallara y la columna de agua se viniera en sentido contrario.

1.6.1.1 Causas que generan Golpe de Ariete

Las principales causas que generan el Golpe de Ariete en Sistemas Hidráulicos son:

1.6.1.1.1 Cierre de válvula

El cierre de válvula es considerado la interrupción típica en un fluido de alta velocidad, pero va a depender de la velocidad de cierre de la válvula mientras más rápido se cierre la válvula, más presión se generará por la obstrucción en el paso del fluido. Las principales causas son las siguientes:

- Por activación de del sistema de parada de emergencia (E.S.D)
- Por cierre de válvulas de operación (válvulas motorizadas o electroválvulas)

1.6.1.1.2 Parada de bombas

Cuando ocurre un paro de bomba, ya sea por una emergencia o una falla repentina de energía en el sistema de alimentación de la bomba, generalmente debido a un corte del suministro eléctrico, causa que la presión caiga rápidamente en la estación de bombeo, propagándose corriente abajo a lo largo de la tubería de impulsión hasta el depósito al final. Esta es la etapa más crítica ya que la presión cae directamente sobre la bomba, a no ser que exista una válvula antes ya sea válvula de corte o válvula de retención.

1.6.1.2 Condiciones que aumentan la magnitud del Golpe de Ariete.

Las condiciones que aumentan las magnitudes del Golpe de Ariete son:

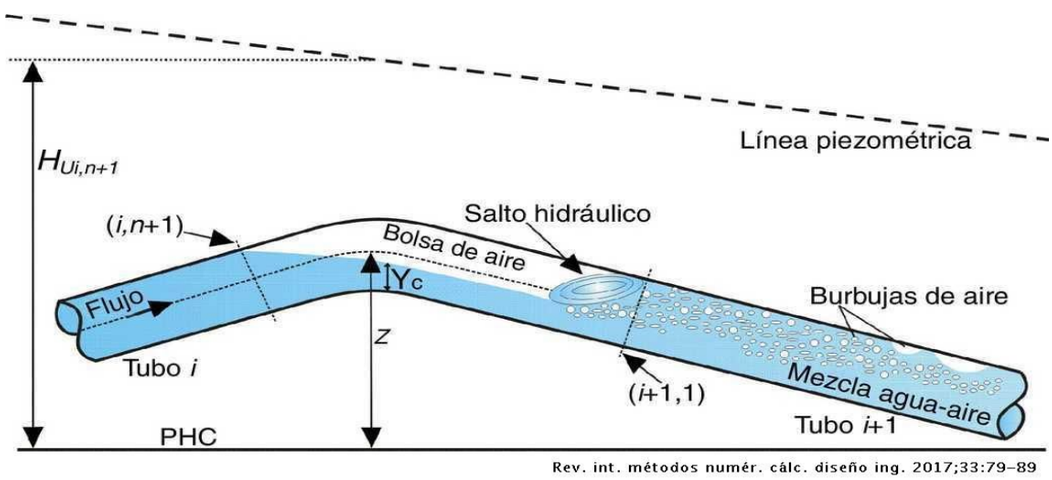
1.6.1.2.1 Dimensión de la tubería

A medida que los caudales destinados al abastecimiento de las ciudades aumentan, también lo hacen los diámetros de las tuberías y, en consecuencia, las presiones de trabajo. Esto permite que las magnitudes de eventos, como el Golpe de Ariete (GA), se incrementen. Sin embargo, este aumento en la magnitud puede acarrear

consecuencias críticas que resultan perjudiciales tanto para las personas como para el entorno.

1.6.1.2.2 Cambio de direcciones y separación de columnas de agua

Cuando la presión de trabajo en un punto específico de la tubería disminuye hasta igualar la presión de evaporación, se forma una burbuja de vapor que puede dividir el líquido en dos columnas. Una vez que la presión se estabiliza nuevamente, el vapor de la burbuja se convierte en líquido, dejando un espacio vacío en el lugar que antes ocupaba el vapor. Como resultado de la diferencia de presión, el líquido a ambos lados del vapor se acelera hacia este espacio, lo que provoca una colisión entre las dos columnas de agua. Esta colisión de las columnas líquidas, o incluso entre una columna de líquido y un extremo cerrado, como una válvula cerrada, genera sobrepresiones y presiones de vacío, aumentando la magnitud del GA, en caso de que se produzca. Este proceso también se repite cuando la línea de tubería tiene cambios de dirección variados, ya que provoca separaciones similares en la columna de agua, como se ilustra en la Figura 1-6.



Fuente: Fuente: “https://www.elsevier.es/es-revista-revista-internacional-metodos-numericos-calculo-338-articulo-analisis-efectos-del-aire-atrapado-S0213131516000055”

Figura 1-6: Esquema representativo de los vacíos en las líneas de tuberías con cambios de direcciones.

1.7 TIPOS DE DISPOSITIVOS AMORTIGUADORES HIDRONEUMÁTICOS CONTRA EL GOLPE DE ARIETE

Un sistema de amortiguación con Hidroneumático para el golpe de ariete tiene dos funciones principales. En primer lugar, amortigua la sobrepresión, permitiendo la expansión del fluido dentro del sistema en momentos determinados. En segundo lugar, amortigua la presión negativa que provoca succión en la tubería, un fenómeno especialmente peligroso para materiales como PVC y HDPE, que son menos resistentes que el acero. Para contrarrestar la presión negativa, el fluido del tanque llena el espacio vacío que se produce durante el evento.

El Tanque Hidroneumático es la mejor solución para evitar las consecuencias negativas de este fenómeno. Se trata de un recipiente a presión que permite la disipación de energía y movimiento cuando el flujo se ve intervenido, además de absorber las variaciones de presión que se produzcan en la línea, manteniendo una presión constante. En Esval S.A., se emplean diferentes tipos de estos equipos, los cuales serán descritos a continuación.

1.7.1 Tanques Hidroneumáticos de Amortiguación contra el Golpe de Ariete Automatizado.

Es un sistema de Amortiguación del Golpe de Ariete, que ocupa la presión del aire acumulado en un tanque, inyectado a través de un compresor, esto permite que el tanque acumule cierto nivel de aire comprimido que permita amortiguar el GA cuando ocurran la línea, de esta manera el fluido libera la energía en el espacio que ocupaba el aire, amortiguando la alta presión. Cuando la presión alcanza un nivel determinado el compresor se apaga y al bajar la presión a un nivel determinado, el compresor se activa. Este sistema es automático y para poder mantener la presión constante dentro del tanque, depende de un panel de control.

Estos equipos están compuestos por dos partes principales que son el tanque (recipiente a presión) y el compresor, este sistema tiene mayor número de componentes respecto a los otros tipos, lo que lo hace el sistema más complejo de todos. Tiene como

condición operativa tener una fuente eléctrica cerca, para la alimentación de los sensores y el compresor. Se puede observar la imagen del sistema en la Figura 1-7.

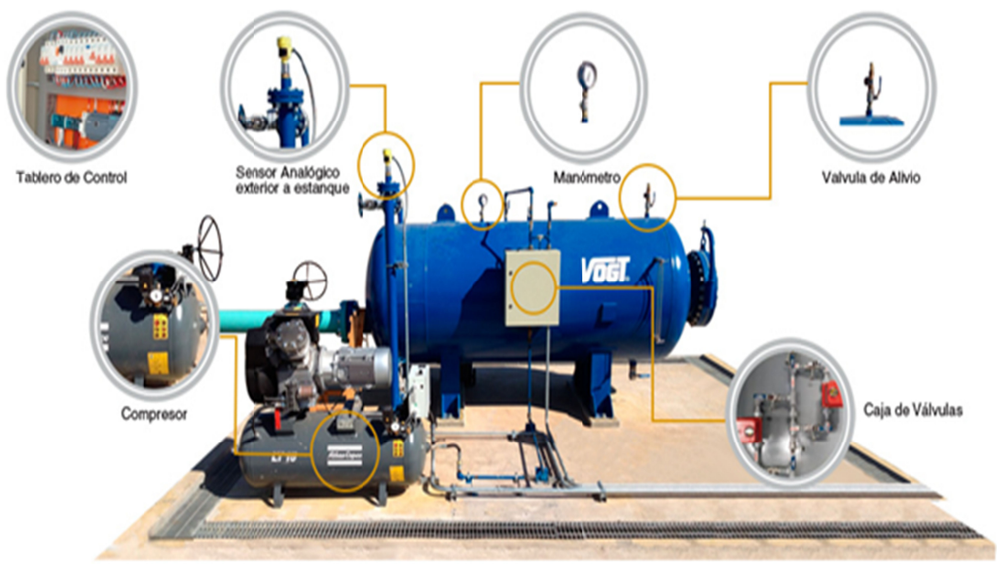


Figura 1-7: Tanque Hidroneumático Amortiguador de Golpe de Ariete Automatizado

Fuente: “www.vogt.com”

1.7.2 Tanque Hidroneumático Amortiguador del Golpe de Ariete con Diafragma

Este tanque está diseñado con dos compartimentos: uno para el volumen de aire y otro para el volumen de agua, los cuales están separados por una membrana fabricada especialmente con caucho butílico. La función principal de esta membrana es expandirse y comprimirse como un diafragma en respuesta a las sobrepresiones y presiones de vacío que se generan en la línea de impulsión durante el Golpe de Ariete (GA). El caucho butílico, debido a sus propiedades especiales, permite una rápida expansión y retracción de su volumen. Sin embargo, con el tiempo y debido a la fatiga del material, la membrana puede romperse o perforarse, lo que provoca la unión de ambos volúmenes, agua y aire. La reparación y reemplazo de esta membrana puede ser un proceso largo y excederse en los tiempos del mantenimiento programado. Para una mejor comprensión del sistema, se puede consultar el esquema en la Figura 1-8.

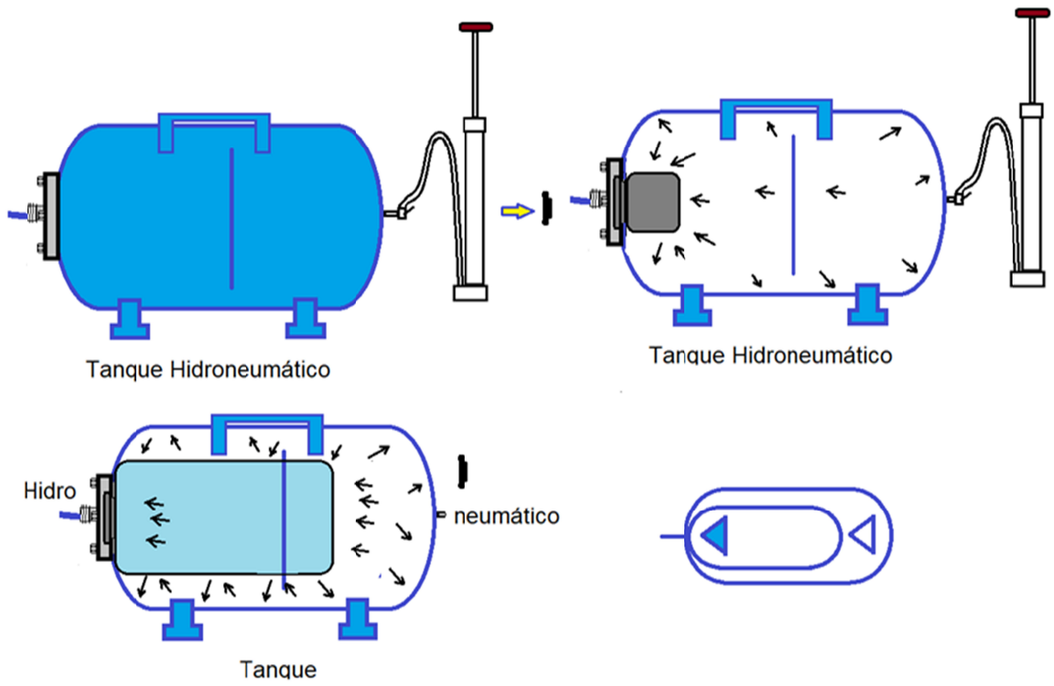


Figura 1-8: Tanque Hidroneumático de Diafragma.

Fuente: https://coparoman.blogspot.com/2020/02/sistema-hidroneumatico.html

1.7.3 Tanque Hidroneumático Contra el Golpe de Ariete Simple

En el Sistema Hidroneumático simple, funciona solo con el volumen de aire en el recipiente, por lo tanto con presión manométrica este dispositivo disipa la energía producida en el GA al tener un mayor volumen para que sea ocupado como el espacio de amortiguación. En este tipo de dispositivo el volumen de aire y el volumen de agua no están separados por algún elemento extra si no que se juntan. Este sistema opera solamente con la presión interna determinada. Es el sistema más simple de todos y el que menos componentes tiene. Se pude observar el esquema del sistema y de su funcionamiento en la Figura 1-7.

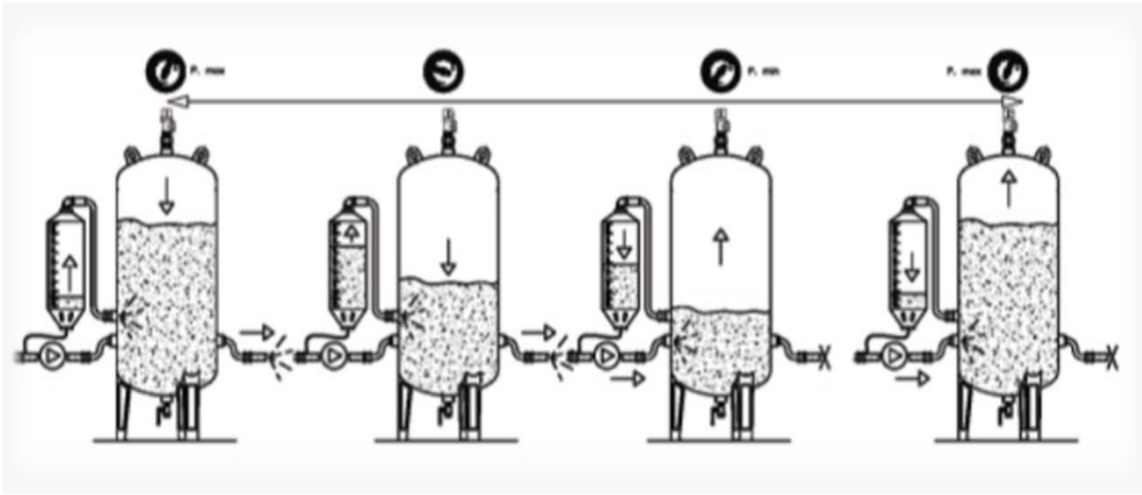


Figura 1-9: Tanque Hidroneumático Amortiguador del Golpe de Ariete Simple Fuente: https://coparoman.blogspot.com/2020/02/sistema-hidroneumatico.html

.

1.7.4 Tanque Hidroneumático Amortiguador de Golpe de Ariete con sistema de Hydroballs.

Es un sistema que ocupa la presión de aire para disipar las sobrepresiones y presiones negativas del GA. En este sistema el volumen de aire y el volumen de agua no se tocan directamente dentro del estanque, si no que el aire está contenido en diferentes balones del mismo volumen acumuladas dentro del tanque. Las esferas funcionan como cápsulas de aire separado, pero que funcionan en conjunto como una masa de aire que actúa de amortiguador. Los balones pueden ir fallando de a poco lo que provoca la disminución de la eficiencia del tanque, es muy difícil saber cuántas esferas hay rotas en el tanque en un tiempo determinado, ya que para saberlo se desconecta y desarma todo el sistema para ver la cantidad de balones tienen fallas, es recomendable seguir las recomendaciones del proveedor. Se puede observar el esquema del sistema en la Figura 1-10.

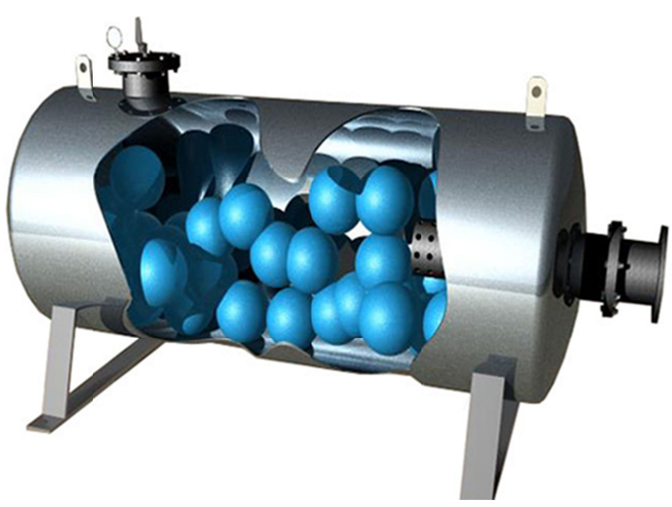


Figura1-10. Tanque Hidroneumático Amortiguador de Golpe de Ariete con Hydroballs.

Fuente: www.hydroballs.com

1.8 ANTECEDENTES DE LOS THAGA

Se analizarán los antecedentes de los diferentes tipos de THAGA en las diferentes plantas, ya sean, PTAP, PTAS, EEAS, EEAP o SPAP, Estas las plantas se dividirán en dos tipos PAP y PAS. Los equipos se dividirán en los 4 tipos de THAGA que se presentaron en el capítulo anterior. La situación actual de los equipos está contenida en un documento facilitado por el departamento de mantenimiento de Esval S.A. Este documento contiene entre otros ítem, el estado de cada THAGA.

La zona Litoral Sur determinada por Esval S.A. cuenta con 61 de plantas sanitarias para abastecer la zona urbana. La cantidad de PAP son 27 plantas, mientras que las PAS son 30 de las cuales 4 no se tiene ningún tipo de información, se puede observar en la Tabla 1-1 y en el Gráfico 1-1. La cantidad total de THAGA de todos los tipos existentes en las PAP corresponde a 30, mientras que las PAS cuenta con 39 THAGA sumando un Total de 69 Equipos Operativos en la Zona Litoral Sur. Se pueden observar el detalle de las cantidades por tipo de THAGA y por tipo de planta en la Tabla1-1.

Número de Plantas	
PAP	27
PAS	30
Sin información	4
TOTAL	61

Tabla 1-1: Número de Plantas en Zona Litoral Sur

Fuente: Elaboración Propia

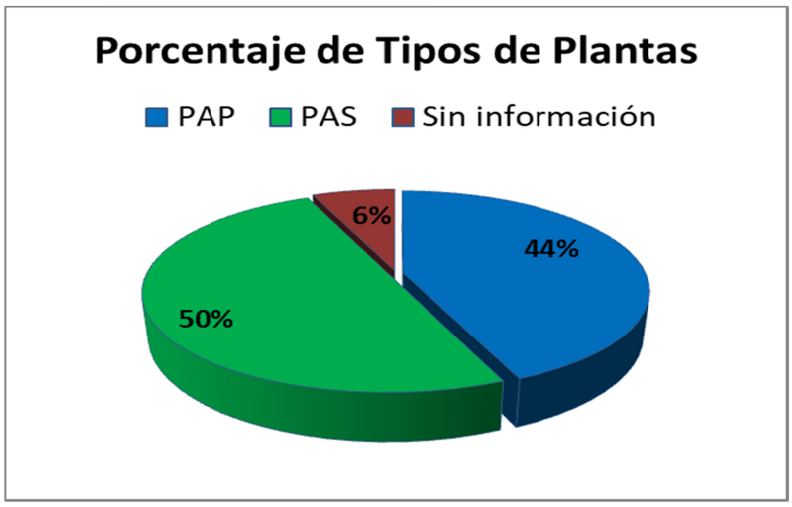


Gráfico 1-1 Porcentaje de tipos de plantas

Fuente: Elaboración propia

	TIPOS DE THAGA				
TIPO DE PLANTA	Diafragma	Hydroballs	Compresor	Simple	TOTAL
PAP	14	8	6	2	30
PAS	26	11	1	1	39
TOTAL	40	19	7	3	69

Tabla 1-2 Tabla de Tipos de THAGA en PAS y PAP

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 1-2 se pueden apreciar los datos de los tipos de THAGA presentes tanto en las PAP como en las PAS. El THAGA con Diafragma destaca como el tipo más común en ambas plantas, con una cantidad de 26 equipos en las PAS y 14 equipos en las PAP, lo que suma un total de 40 equipos. Le siguen los THAGA con Hydroballs, con 8 equipos en las PAP y 11 equipos en las PAS, sumando un total de 19 equipos. Por otro lado, los THAGA Automatizados representan un total de 7 equipos, siendo 6 de ellos encontrados en las PAP. Los THAGA Simples están presentes en ambas plantas, con una cantidad de 1 equipo en total.

Es importante mencionar que las plantas que carecen de información serán excluidas del plan de mantenimiento por el momento, pero es recomendable obtener dicha información lo antes posible para poder integrarlas adecuadamente al plan de mantenimiento en el futuro.

CAPÍTULO II: : PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO MEDIANTE FMECA

2. PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO

A continuación se detallaran la actual situación de los equipos para desarrollar el análisis de efectos y modos de fallas y de este método realizar la propuesta de plan de mantenimiento.

2.1 ACTUAL SITUACIÓN DE LOS THAGA

Una vez contabilizadas las plantas, la cantidad de THAGA en cada tipo de plantas y los tipos de THAGA, se procede a graficar los estados de cada tipo de tanque con las fallas generales y específicas de cada uno. Teniendo estos datos, se podrá luego realizar el análisis de modos y efectos de fallas. Para poder priorizar las actividades en el plan de mantenimiento.

El estándar de operación establecido debe cumplir con ciertos parámetros operativos, como la presión y espesores definidos en el diseño. La corrosión externa es un factor que afecta los parámetros de limpieza y condición de equipos, por lo tanto, también es considerado una condición fuera de referencia para el estándar de Buen Estado de un THAGA.

Los THAGA considerados Buen Estado, cumplen con todos los parámetros de operación y limpieza del sistema, por lo tanto, cualquiera sea una desviación de estas variables serán considerados como equipos que necesitan algún tipo de mantenimiento.

Para cada THAGA se asignaron diferentes estados de los equipos, la Corrosión Externa es un estado común para todos los tipos de THAGA, mientras que los específicos se asignan a un solo tipo de THAGA de tal forma que la Membrana perforara es un estado asignado solo al THAGA con Diafragma, Balones Perforados es asignado a THAGA con Hydroballs y el THAGA automatizado es asignado con el estado de Compresor no inyecta presión.

PAP					
Tipo	Buen Estado	Corrosión Externa	Estados Específicos de cada TIPO		Total
Simple	2	0			2
Diafragma	9	2	Membrana Perforada	3	14
Hydroballs	7	1	Balones Perforadas	0	8
Automatizado	3	0	Compresor no inyecta presión	3	6
TOTAL	21	3	6		30

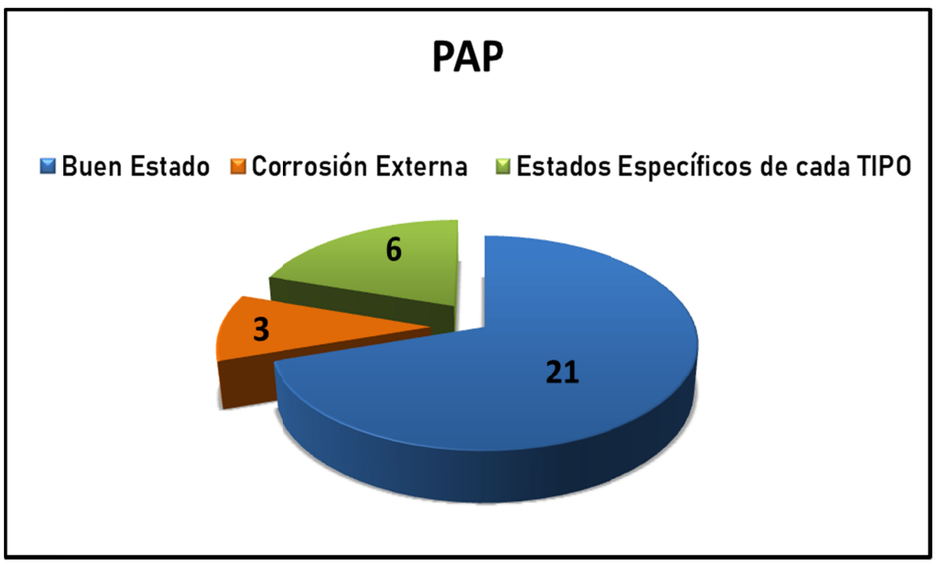
Fuente: Elaboración propia

Tabla: 2-1 Estados de THAGA en PAP según su tipo

PAS					
Tipo	Buen Estado	Corrosión Externa	Estados Específicos de cada TIPO		Total
Simple	1	0			1
Diafragma	7	14	Membrana Perforada	5	26
Hydroballs	4	7	Balones Perforadas	0	11
Automatizado	1	0	Compresor no inyecta presión	0	1
TOTAL	13	21	5		39

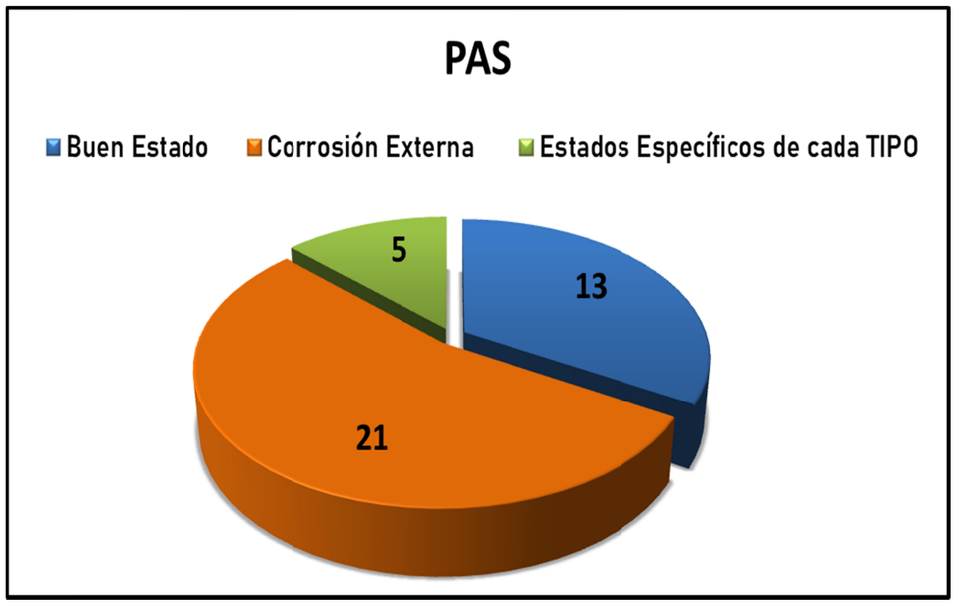
Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-2 Estados de THAGA en PAS según su tipo



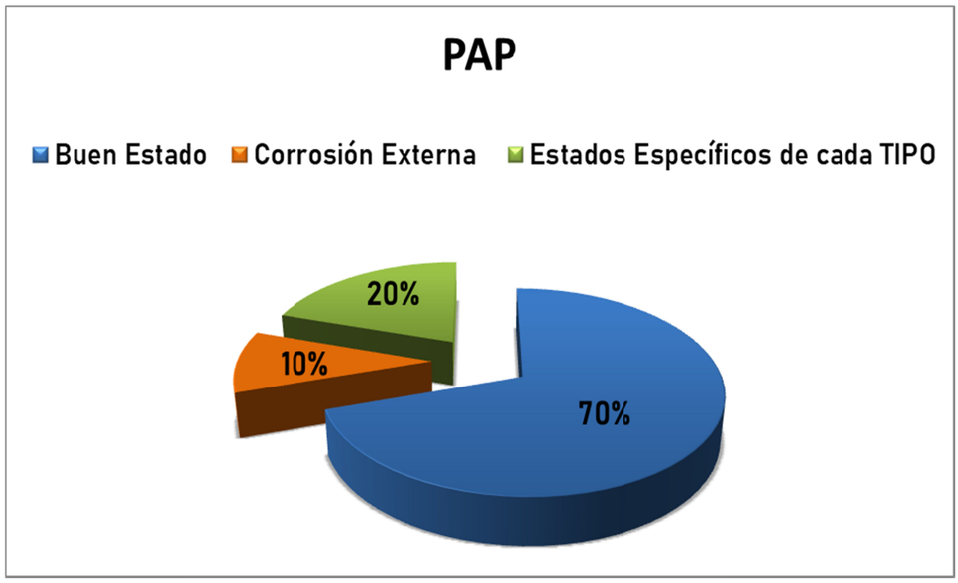
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 2-1 Estados de THAGA en PAP



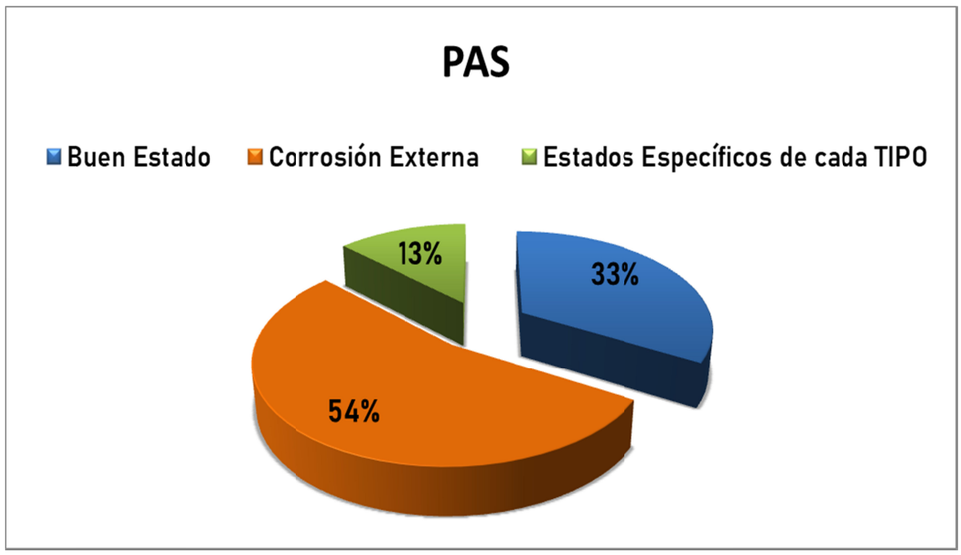
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 2-2 Estados de THAGA en PAS



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 2-3 Estado de THAGA en PAP porcentual



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 2-4 Estados de THAGA en PAS porcentual

Teniendo ya identificada la cantidad de equipos que existen en la PAP y en las PAS, se procede a contabilizar los estados de cada THAGA clasificado según su tipo.

Paras las PAP, en la Tabla 2-1, se observan las estadísticas de los estados de los tanques, en el Gráfico 2-1 se observan las cantidades de estado que se encuentra cada tipo de THAGA y el Gráfico 2-3 representa el mismo dato, pero en modo porcentual.

Para las PAS, en la Tabla 2-2, se observan las estadísticas de los estados de los tanques, en el Gráfico 2-2 se observan las cantidades de estado que se encuentran de cada tipo de THAGA y el Gráfico 2-4 representan el mismo dato en modo porcentual.

Haciendo un contraste con los datos obtenidos en las Tablas y Gráficos anteriores entre las PAP y las PAS, se observa en primera instancia que los equipos que se encuentran en Buen Estado tienen un mayor número en las PAP con una cantidad de 21 equipos correspondiente a un 70% del total, mientras que en las PAS la cantidad es de 13 equipos correspondiente a un 33% del total. Como segunda observación significativa, el número de equipos que se encuentran con corrosión externa en las PAS es de 21 equipos lo que es igual al 54% del total, mientras que en las PAP el número de equipos con corrosión externa es de 3, representando un 10 % del total.

Las fallas específicas en las PAP se dividen 3 THAGA con membrana perforada y 3 THAGA con el compresor averiado el cual no inyecta presión, representando un

20% del total. Para las PAS las fallas específicas corresponden a 5 THAGA de Diafragma con membranas perforadas, las cuales corresponden al 13 % del total. Todos los datos anteriormente mencionados Se observan en la Tablas 2-1 y 2-2, también en los Gráficos 2-1, 2-2, 2-3 y 2.4.

2.2 METODOLOGIA DE ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA, EFECTOS DE FALLA Y CRITICIDAD.

EL análisis de Modo y Efecto de Fallas es un procedimiento basado en un análisis cualitativo y estructurado que permite identificar fallas de procesos, sistemas o productos, También sirve para evaluar y clasificar los efectos y causas de falla, e identificar los componentes que fallan para poder priorizar cambios y correcciones sobre el diseño original para buscar los mejores parámetros de operación según se requiera. También facilita la toma de decisiones de la asignación de recursos destinados las diferentes actividades en el mantenimiento.

Este análisis tendrá como objetivo identificar cuáles son los modos de fallas críticos y poder intervenir en las actividades para un mantenimiento correctivo, preventivo o predictivo.

Los modos de falla serán identificados como la manera que el activo pierde la capacidad de desempeñar su función. Estos modos de falla serán considerados como cualquier desviación de los parámetros de operación y limpieza del THAGA.

Este análisis tiene el siguiente procedimiento: en primer lugar se identifica la función que el activo realiza en el proceso y cuáles son los parámetros establecidos en el diseño, siguiendo con un análisis funcional de los equipos, después de esto se identifica los modos de falla, efectos de falla, la severidad de las fallas, se determinan las causas para poder evaluar la ocurrencia y determinar la detección. Finalmente se obtiene el NPR o número de prioridad de riesgo que corresponde a un valor numérico que indica los riesgos derivados de las fallas.

Luego de este procedimiento se evalúa y se proponen mejoras a base de acciones recomendadas para poder disminuir el NPR en las fallas que tiene un nivel alto de riesgo

y poder disminuirlo a través de una mejor alternativa de mantenimiento a niveles aceptables.

2.2.1 Análisis Funcional de los Equipos

Para poder realizar el FMECA e intervenir de manera correcta con un plan de mantenimiento, en primer lugar, se tiene que conocer de manera detallada cuales es la función que cumple el sistema de amortiguación, de tal manera que se pueda deducir de qué manera falla y cuáles son sus efectos, y de esta manera poder priorizar las actividades de mantenimiento.

La función del THAGA es proteger la línea de impulsión y sus elementos principales a través de un sistema de Amortiguación de Golpe de Ariete y ser capaz de contener las variaciones de presiones con un espesor de pared de acuerdo a los estándares de cálculo, siguiendo estándares de operación, limpieza y estado de los equipos. La presión de trabajo de estos equipos varía de entre 4 a 10 bar de presión dependiendo del diseño y del volumen del THAGA.

Se analizaron la falla funcional de los cuatro tipos de Amortiguadores siguiendo los datos de los antecedentes presentados anteriormente. Las fallas funcionales son: para el tipo Simple, disminución de espesor del manto y/o los cabezales , para el tipo de Diafragma las fallas funcionales son la diminución de espesor del manto y/o los cabezales y la presión manométrica interna del THAGA no tiene la presión de trabajo que requiere, para el tipo de Hydroballs las fallas funcionales son la disminución de espesor en el manto y/o los cabezales y la presión de trabajo no es la requerida, para el Tipo Automatizado las fallas funcionales son las perdida de espesor en el manto y/o los cabezales y que la presión interna del THAGA no es la presión de trabajo especificada en cálculo. En las fallas funcionales la disminución de espesor es una falla general de los tanques, este tipo de falla aplica a todos los equipos que sufran disminución del espesor. Sin embargo, el trabajar con una presión diferente a la que debería trabajar tiene características específicas para cada tipo de tanque. [Tabla 2-3:Análisis funcional de equipos.]

Equipo	Descripción de la Función	TIPO de THAGA	Falla funcional
Sistema de Amortiguación del Golpe de Ariete con Tanque Hidroneumático.	Proteger una línea de impulsión y sus elementos principales a través de un sistema de Amortiguación del Golpe de Ariete y ser capaz de contener las variaciones de presiones con un espesor de pared de acuerdo estándares de cálculo, siguiendo estándares de operación ,limpieza y estado de los equipos. La presión de trabajo de los THAGA varían de entre 4 a 10 bares de presión en las líneas de impulsión.	Simple	No tiene el espesor requerido en el manto y/o en los cabezales
		Diafragma	No tiene el espesor requerido en el manto y/o en los cabezales
			La presión manométrica no trabaja entre 4 a 10 bar
		Hydroballs	No tiene el espesor requerido en el manto y/o en los cabezales
			La presión manométrica no trabaja entre 4 a 10 bar
		Automatizado	No tiene el espesor requerido en el manto y/o en los cabezales
			La presión manométrica no trabaja entre 4 a 10 bar

Tabla 2-3: Análisis Funcional de los THAGA.

Fuente: FMECA Elaboración Propia

2.2.2 Modos de falla

Los modos de falla son identificados según las condiciones que presentan los tanques y según sus componentes principales, que son el recipiente a presión y los elementos específicos de cada tipo.

Para la falla general que es la disminución de espesor del tanque (disminución del espesor del manto y/o los cabezales), se presentan por corrosión externa. Este modo de falla afecta a todos los cuerpos de los tanques de igual manera, cabe destacar que la mayor cantidad de THAGAS con corrosión externa están en las PAS. Es importante recalcar que la disminución del espesor del tanque por deterioro acelerado, concluye en un desgaste nocivo el cual debilita tanto la pared del tanque que finalmente se produce una perforación, por lo tanto es importante controlar este modo de falla ya que sus consecuencias son críticas.

Los otros modos de fallas identificados en los THAGA son específicos de cada tipo de esta manera se obtiene que el THAGA con Diafragma posee un modo de falla que es la perforación de la membrana, la cual con esta condición queda deshabilitada, por lo tanto se requiere un recambio de esta membrana. EL THAGA con Hydroballs a pesar de que presenta variaciones en la presión, es casi imposible saber cuántos balones se encuentras deshabilitados y cuantos se encuentran buenas condiciones, por lo que se debe hacer un recambio de la cantidad total de balones El THAGA automatizado y su presión de trabajo depende totalmente del compresor, el cual inyecta la presión requerida, estableciendo un nivel específico. Si la presión de trabajo varía, significa que el compresor no está inyectando presión al interior del tanque por lo que es el modo de falla de este tipo de equipo. [Tabla 2-4: Modos de falla]

Equipo	Descripción de la Función	TIPO de THAGA	Falla funcional	Modo de Falla
Sistema de Amortiguación del Golpe de Ariete con Tanque Hidroneumático.	Proteger una línea de impulsión y sus elementos principales a través de un sistema de Amortiguación del Golpe de Ariete y ser capaz de contener las variaciones de presiones con un espesor de pared de acuerdo estándares de cálculo, siguiendo estándares de operación ,limpieza y estado de los equipos. La presión de trabajo de los THAGA varían de entre 4 a 10 bares de presión en las líneas de impulsión.	Simple	No tiene el espesor requerido en el manto y/o en los cabezales	Corrosión Externa
		Diafragma	No tiene el espesor requerido en el manto y/o en los cabezales	Corrosión Externa
			La presión manométrica no trabaja entre 4 a 10 bar	Membrana Perforada
		Hydroballs	No tiene el espesor requerido en el manto y/o en los cabezales	Corrosión Externa
			La presión manométrica no trabaja entre 4 a 10 bar	Balones Rotos
		Automatizado	No tiene el espesor requerido en el manto y/o en los cabezales	Corrosión Externa
			La presión manométrica no trabaja entre 4 a 10 bar	Compresor no inyecta presión

Tabla 2-4: Modos de falla de los tipos de THAGA

Fuente: Elaboración Propia

2.2.3 Efectos de Falla

Los efectos de falla derivados directamente de los modos de falla se analizan para determinar si la falla podría tener un impacto potencial en la operación o si no afecta significativamente al proceso.

En el caso de los THAGAcon corrosión externa, se identifican tres efectos de falla. En primer lugar, el tanque pierde su capa de protección (pintura) y su estética se ve afectada, aunque esto no impacta directamente en la operación, sí marca el inicio del deterioro del tanque. El segundo efecto de falla es el deterioro del recipiente metálico, lo que provoca una disminución en su estabilidad y resistencia. Cuando la corrosión alcanza un nivel crítico, el espesor del tanque disminuye hasta el punto de que puede romperse bajo presión, superando el umbral de espesor mínimo. El tercer efecto significativo es la perforación del THAGA debido a una corrosión externa acelerada y acentuada, lo que hace que el tanque no resista los esfuerzos internos y se perfora el manto o cabezales del tanque. La criticidad de la situación aumenta si se trata de una PAS.

Por otro lado, el efecto de falla común para los diferentes tipos de THAGA con Diafragma, Hydroballs y Automatizado, es que la presión manométrica interna del tanque no se mantiene en los valores establecidos en el sistema THAGA. Este efecto se deriva de los modos de falla específicos de cada tipo de tanque, que incluyen membrana perforada, balones perforados y compresor que no inyecta presión. [Ver Tabla 2-5: Efectos de falla]

Equipo	Descripción de la Función	TIPO de THAGA	Falla funcional	Modo de Falla	Efecto de falla
Sistema de Amortiguación del Golpe de Ariete con Tanque Hidroneumático.	Proteger una línea de impulsión y sus elementos principales a través de un sistema de Amortiguación del Golpe de Ariete y ser capaz de contener las variaciones de presiones con un espesor de pared de acuerdo estándares de cálculo, siguiendo estándares de operación ,limpieza y estado de los equipos. La presión de trabajo de los THAGA varían de entre 4 a 10 bares de presión en las líneas de impulsión.	Simple	No tiene el espesor requerido en el manto y/o en los cabezales	Corrosión Externa	El tanque pierde su capa de protección y pierde estética.
					Se presenta deterioro en la estructura metálica, con el que pierde su espesor por lo tanto su estabilidad y resistencia estructural
					La pared del tanque se perfora
		Diafragma	No tiene el espesor requerido en el manto y/o en los cabezales	Corrosión Externa	El tanque pierde su capa de protección y pierde estética
					Se presenta deterioro en la estructura metálica, con el que pierde su espesor por lo tanto su estabilidad y resistencia estructural
					La pared del tanque se perfora
			La presión manométrica no trabaja entre 4 a 10 bar	Membrana Perforada	La membrana no es capaz de absorber las variaciones de presiones que ocurren en la línea
		Hydroballs	No tiene el espesor requerido en el manto y/o en los cabezales	Corrosión Externa	El tanque pierde su capa de protección y pierde estética
					Se presenta deterioro en la estructura metálica, con el que pierde su espesor por lo tanto su estabilidad y resistencia estructural
					La pared del tanque se perfora
			La presión manométrica no trabaja entre 4 a 10 bar	Balones Rotos	La presión del conjunto de balones no es capaz de absorber las diferencia de presión de la línea.
		Automatizado	No tiene el espesor requerido en el manto y/o en los cabezales	Corrosión Externa	El tanque pierde su capa de protección y pierde estética
					Se presenta deterioro en la estructura metálica, con el que pierde su espesor por lo tanto su estabilidad y resistencia estructural
					La pared del tanque se perfora
			La presión manométrica no trabaja entre 4 a 10 bar	Compresor no inyecta presión	El tanque Hidroneumático no acumula la presión que necesita para amortiguar al Golpe de Ariete y las variaciones de presión

Tabla 2-5: Efectos de falla de los tipos de THAGA

Fuente: Elaboración Propia

Una vez identificados los efectos de falla se evalúa el índice de severidad (S) para luego especificar las causas potenciales de las fallas, estas causas se evalúan con la ocurrencia (O) y finalmente se estiman los controles y se saca el índice de Detección (D). Teniendo estos índices que son Severidad, Ocurrencia y Detección en la tabla toman valores cuantitativos los cuales se multiplican para obtener el NPR. (Numero prioritario de riesgo).

$$S \times O \times D = NPR$$

$S = Severidad$

$O = Ocurrencia$

$D = Detectabilidad$

$NPR = Número\ prioritario\ de\ Riesgo$

Para la identificación de los valores de S, O y D en la tabla de análisis de modos y efectos de falla, se usan las tablas que tienen ranking y las cualidades a cuales se asocian. De esta forma se podrá determinar cuáles son los eventos que tienes más riesgo críticos, estas fallas son los que tienen el valor más alto en el índice NPR, después de esto se podrá determinar cómo las mejoras propuestas modifican los valores de S, O y D

Severidad		
ASQ (American Society for Quality)		
Clasificación	**Efecto**	**Criterio: Severidad de Efecto Definido (proceso)**
10	**Critico** Peligroso: Sin Aviso	Puede poner en peligro al operador. Modo de fallas afectan la operación segura y/o involucra la no conformidad con regulaciones gubernamentales. La falla ocurrirá SIN AVISO.
9	**Critico** Peligroso: Con Aviso	Puede poner en peligro al operador. Modo de fallas afecta la operación segura y/o involucra la no conformidad con regulaciones gubernamentales. La falla ocurrirá CON AVISO.
8	**Muy Alto**	Interrupción mayor a la línea de producción. 100% del producto probablemente sea desechado. Ítem inoperable, perdida de su función primaria. Cliente muy insatisfecho.
7	**Alto**	Interrupción menor a la línea de producción. Producto probablemente deba ser clasificada y una porción (menor al 100%) desechada. Ítem operable, pero a un nivel reducido de rendimiento. Cliente insatisfecho.
6	**Moderado**	Interrupción menor a la línea de producción. Una porción (menor al 100%) probablemente deba ser desechada (no clasificada). Ítem operable, pero algunos ítems de confort/ conveniencia inoperables. Clientes experimentan incomodidad.
5	**Bajo**	Interrupción menor a la línea de producción. 100% del producto probablemente sea retrabajado. Ítem operable, pero algunos ítems de confort/ conveniencia operables a un nivel reducido de rendimiento. Cliente experimenta alguna insatisfacción.
4	**Muy Bajo**	Interrupción menor a la línea de producción. El producto probablemente deba ser clasificado y una porción (menor al 100%) retrabajada. Defecto percibido por la mayoría de los clientes.
3	**Pequeño**	Interrupción menor a la línea de producción. Una porción (menor al 100%) del producto probablemente deba ser retrabajada en línea pero fuera de la estación de trabajo. Defecto es percibido por el cliente promedio.
2	**Muy Pequeño**	Interrupción menor a la línea de producción. Una porción (menor al 100%) del producto probablemente deba ser retrabajada en la línea y en la estación de trabajo. Defecto es percibido solo por clientes expertos.
1	**Ninguno**	Ningún efecto.

Tabla alineada con ASQ (American Society for Quality)

Tabla 2-6: Tabla de Severidad

Fuente: American Society for Quality

Ocurrencia (Probabilidad de que pase)				
ASQ (American Society for Quality)				
Clasificación	Ocurrencia	Descripción	Frecuencia	Cpk (indice de capacidad real)
10	Muy Alta	La falla del proceso es casi inevitable	1 en 2	0.33
9			1 en 3	0.51
8	Alta	Procesos similares han presentado fallas	1 en 8	0.67
7			1 en 20	
6	Moderada	Muy pocas fallas ocasionales asociadas a procesos similares	1 en 80	0.83
5			1 en 400	1.00
4			1 en 2,000	1.17
3	Baja	Pocas fallas asociadas con procesos similares	1 en 15,000	1.33
2			1 en 150,000	1.5
1	Remota	Falla es improbable. Fallas nunca asociadas con procesos casi idénticos	< 1 en 1,500,000	> 1.67

Tabla alineada con ASQ (American Society for Quality)

Tabla 2-7 Tabla de Ocurrencia

Fuente: American Society Quality

Detección			
ASQ (American Society for Quality)			
Clasificación	Probabilidad de detección	Oportunidad de detección	Criterio: Probabilidad de detección por control de procesos
10	Casi Imposible	Sin oportunidad de detección	no hay controles en el proceso capaz de detectar o prevenir la causa potencial de falla
9	Muy Remota	Es probable que no se detecte en ninguna etapa del proceso	Hay una probabilidad muy remota de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
8	Remota	Detección de problemas después del proceso	Hay una probabilidad remota de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
7	Muy Baja	Detección de problemas en la fuente	Hay una probabilidad muy Baja de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
6	Baja	Detección de problemas después del proceso	Hay una probabilidad Baja de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
5	Moderada	Detección de problemas en la fuente	Hay probabilidad moderada de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
4	Altamente Moderada	Detección de problemas después del proceso	Hay una probabilidad muy moderada de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
3	Moderada	Detección de problemas en la fuente	Hay una probabilidad moderada de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
2	Muy Alta	Detección de errores y/o prevención de problemas	Hay muy alta probabilidad de que el control de proceso detecte o de prevenga la causa potencial del modo de falla
1	Casi Seguro	Proceso a prueba de errores	Es casi seguro que el control de proceso es capaz de detectar o de prevenir la causa potencial del modo de falla

Tabla alineada con ASQ (American Society for Quality)

Tabla 2-8: Tabla de Detección

Fuente: American Society Quality

NPR	CRITICIDAD	CRITERIO
1=<NPR=<80	BAJA	RIESGO MENOR DE LA FALLA
81=<NPR=<200	MEDA	RIESGO MODERADO, REQUIERE EVALUACION DEL DISEÑO O CARACTERIZACIÓN PARA BAJAR EL VALOR NPR
NPR>=201	ALTA	RIESGO ALTO, REQUIERE REVISIONES DETALLADAS AL DISEÑO Y PROCESOS PARA REDUCIR EL NPR

Tabla 2-9: Tabla de Rangos Según su riesgo Crítico

Fuente: Elaboración propia

Ya obtenidos todos las variables cualitativas y evaluadas en las tablas de riesgo (S, O y D), se puede determinar en el FMECA cuáles son las fallas con mayor riesgo, evaluando y determinando cuales son los mayores valores de NPR en el análisis.

Los valores más altos obtenidos en el Análisis de Modos y Efectos de falla son la corrosión externa con consecuencia de perforación del tanque, ya que trae consecuencias riesgosas para la vida humana y para las operaciones continuas del servicio sanitario, el riesgo crítico aumenta cuando se trata de tanques que estén es las PAS, ya que las aguas servidas producen además una gran contaminación, que puede ser toxica e incluso mortal para el ser humano y las especies del medio ambiente.

También se obtuvo un valor crítico en las fallas específicas de cada tipo, para el THAGA con Diafragma (membrana perforada) y THAGA con Hydroballs (balones rotos), ya que con sus principales amortiguadores averiados no pueden trabajar con la presión establecida en el diseño. El THAGA automatizado no tiene un NPR alto ya que, posee algunos controles que nos permite saber de forma más eficiente si su sistema de amortiguación esta averiado o no, por lo tanto tiene un valor de NPR semi-crítico.

Los valores semi-críticos también derivan de la corrosión externa de los tanques pero con un efecto menor, según el riesgo, esta consecuencia se refiere a al deterioro y perdida del espesor, con lo que el tanque pierde estabilidad y resistencia para aguantar las variaciones de presión que ocurren en la línea y sobre todo el GA.

2.2.4 Propuestas de acciones determinadas para el plan de mantenimiento

Una vez realizado el análisis de modos y efectos de falla (FMECA) y determinado cuales son las fallas con riesgo crítico presentadas por el nulo y poco eficiente mantenimiento a los cuales están sometidos los equipos THAGA, se determinara cuáles son las acciones preventivas de mantenimiento para evitar paradas de impulsiones y desviaciones de los parámetros de operación tanto para las PAP como para las PAS.

Las acciones de mantenimiento con más prioridad para tratar, son la corrosión externa que presentan los tanques ya que presenta efectos críticos y semi-críticos en todos los tipos de THAGA, por lo que es fundamental determinar cuál es el enfoque de estas acciones, principalmente basadas en el control y monitoreo, para así obtener con datos estadísticos y poder determinar cuál es el avance del deterioro por corrosión.

Para los efectos que son críticas respecto a la presión de trabajo, es respecto a la pérdida del sistema amortiguador que tienen los THAGA con Diafragma y los THAGA con Hydroballs. Para los THAGA con diafragma la cantidad con falla son 3 equipos en las PAP, y 5 en las PAS. Para estas fallas es importante tener monitoreo de la presión de trabajo para saber si la membrana está funcionando correctamente así como los Hydroballs.

2.2.4.1 Acciones de mantenimiento para inspección de recipientes a presión según Código API 510

Al analizar los gráficos 2-3 y 2-4 de manera estadística, se puede apreciar que la incidencia de THAGA con corrosión externa en las PAP es del 10% (3 de 30). Sin embargo, en el caso de las PAS, este porcentaje es considerablemente más alto, alcanzando un 54% (21 de 59) de equipos afectados. Estos resultados sugieren claramente que en este tipo de planta, el ácido sulfhídrico produce una corrosión acelerada y de mayor magnitud en comparación con las PAP. Para ellos se tendrán que hacer inspecciones periódicas y evaluar los espesores de los THAGA.

El Código API 510 establece las condiciones y requisitos para llevar a cabo la inspección y mantenimiento de recipientes a presión construidos según el Código ASME Sección VIII, una vez que han sido puestos en servicio. De esta manera se podrá inspeccionar los espesores requeridos para el tanque a través de diferentes técnicas.

2.2.4.1.1 Técnicas NTD para la inspección del mecanismo de daño de corrosión de los THAGA.

La corrosión externa representa la principal causa de falla en diversos tipos de Tanques Hidroneumáticos Amortiguador del Golpe de Ariete (THAGA), pudiendo provocar un deterioro prematuro del material e incluso perforar la pared del tanque. Para ello se ocuparan dos técnicas para el monitoreo de los efectos del mecanismo de la corrosión sobre el espesor del tanque, las técnicas son:

- Ultrasonic Testing (Inspección por ultrasonido)

Para asegurar un monitoreo preciso del espesor del THAGA, se empleará un ensayo no destructivo basado en ultrasonido (UT). Esta técnica utiliza ondas de sonido de alta frecuencia en un rango de 500 kHz a 50 MHz para llevar a cabo inspecciones y mediciones. Entre sus aplicaciones principales se encuentran la medición de dimensiones, espesores, la caracterización de materiales y la detección de defectos, entre otras. Este procedimiento se llevará a cabo utilizando un instrumento especial denominado medidor de espesores por ultrasonido, el cual cuenta con dos sensores llamados transductores, responsables de emitir y recibir las frecuencias de sonido. Dichos transductores se posicionan cuidadosamente en un punto de la pared del tanque, y con la ayuda de un acoplante se logra una correcta medición y lectura de los espesores.

La detección ultrasónica de fallas para detectar grietas internas y superficiales y otras discontinuidades alargadas. ASME BPVC, Sección V, Artículo 4, Artículo 5 y Artículo 23, brindan orientación sobre la realización de UT

- Visual Testing (Inspección Visual)

Además, se emplearán técnicas de ensayos no destructivos basados en inspección visual (VI), que mayormente se enfocan en los cordones de soldaduras para determinar sus dimensiones, componentes y calidad, pero también es aplicable a toda la superficie del THAGA. Estas técnicas permiten detectar discontinuidades o defectos significativos que afectan la superficie accesible visualmente. Para ello, se utilizarán diversos instrumentos, tales como lentes de aumento, microscopios, linternas, pies de rey, micrómetros, reglas y galgas.

2.2.4.1.1.1 Información Técnica del THAGA

La inspección se basará en información concreta obtenida de las placas de información de los distintos tipos de Tanques Hidroneumáticos. Estos datos incluyen la presión de trabajo, el radio interno del tanque y detalles relevantes sobre el material de fabricación. La recopilación precisa de esta información permite una evaluación más precisa de la integridad de los tanques, facilitando la toma de decisiones para mantener

su buen estado y prevenir posibles fallas anticipadas. Un ejemplo de Placa información de un THAGA automatizado en la Figura 2-1

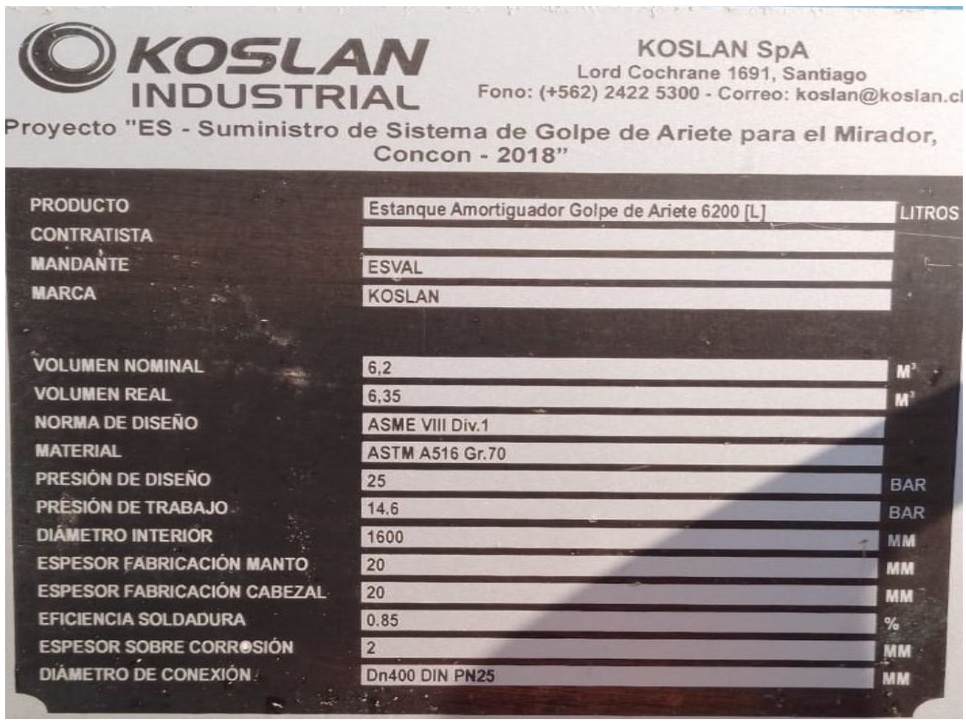


Figura 2-1 Placa de Información de THAGA

Fuente: Información técnica del departamento de mantenimiento de Esval.

2.2.4.1.1.2 Determinación de los Espesores Requeridos y el Espesor de Alarma

Se determinara el espesor mínimo requerido para el cilindro y los cabezales en un recipiente a presión, formulado en el Código Asme VIII, División 1.

Para ello se deberá también establecer un espesor de alerta, este tendrá como función principal determinar una condición del espesor para realizar el cálculo de vida restante. Cuando el espesor de Alerta también nos advierte del avance que tiene la corrosión para poder determinar otras áreas con alta probabilidad de ser afectadas. El espesor de Alerta deberá estar al 50% entre el espesor original y el espesor mínimo.

A continuación se presentan las ecuaciones para calcular el espesor mínimo del cilindro y de los cabezales de un recipiente a presión.

- Espesor mínimo del cilindro del tanque por esfuerzos circunferenciales se determina por la ecuación 1:

$$\boldsymbol{t}\ min = \frac{P \times R}{S \times E - (0.6\ P)}$$

- Espesor mínimo del cilindro por esfuerzos longitudinales, se determina por la ecuación 2:

$$\boldsymbol{t}\ min = \frac{P \times R}{S \times E + (0.4\ P)}$$

t min= espesor mínimo aceptable. [pulgadas]

P= Presión de diseño. [psi]

R= Radio interno del tanque. [pulgadas]

S= Esfuerzo máximo permisible del material. [psi]

E= Factor de eficiencia de la junta soldada.

Fórmulas para el cálculo de espesor mínimo en los cabezales:

- Espesor mínimo para cabezales semiesféricos:

$$\boldsymbol{t}\ min = \frac{P * L}{2S * E - (0.2P)}$$

- Espesor mínimo para cabezal semielípticos

$$\boldsymbol{t}\ min = \frac{P \times D}{2S \times E - (0.2P)}$$

- Espesor mínimo para cabezal torisféricos

$$\boldsymbol{t}\ min = \frac{0.885 \times P \times L}{S \times E - (0.21P)}$$

t min= espesor mínimo aceptable [pulgadas]

P= Presión de diseño. [psi]

L= Radio interno del cabezal [pulgadas]

S= Esfuerzo máximo permisible del material [psi]

E= Factor de eficiencia de la junta soldada.

2.2.4.1.1.3 Identificación de CML

Una vez establecidos los valores de espesores se podrán determinar los CML en el cuerpo del THAGA, los puntos de inspección estarán ubicados a 1" de distancia de los cordones de soldadura. Los CML son establecidos de esta manera, tanto para tanques de posición vertical como tanques de posición horizontal En los soportes se determinaran 8 puntos de inspección igual que las entradas de flujo y en caso que lo tenga Manhole. Se pueden apreciar los CML en la Figura 2-2.

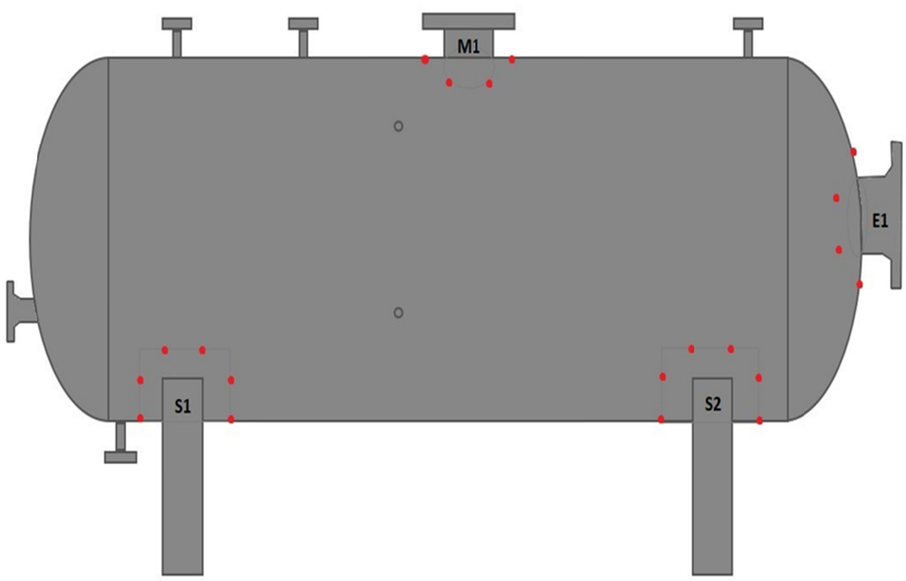


Figura 2-2: Áreas de monitoreo de inspección de zonas adyacentes a las soldaduras de soportes y entradas

Fuente: Elaboración propia

CML [soportes]	Espesor Original	Espesor de Alerta	Espesor mínimo	Medición
S1				
1,1				
1,2				
1,3				
1,4				
1,5				
1,6				
1,7				
1,8				

Tabla 2-10: Registro de CML alrededor de soldaduras de soportes

Fuente: elaboración Propia

CML[[entrada y manhole]	Espesor Original	Espesor de Alerta	Espesor mínimo	Medición
E1				
1,1				
1,2				
1,3				
1,4				
1,5				
1,6				
1,7				
1,8				
M1				
2,1				
2,2				
2,3				
2,4				
2,5				
2,6				
2,7				
2,8				

Tabla 2-11: Registro de CML alrededor de soldaduras de entradas de THAGA (Manhole y entrada de flujo)

Fuente: elaboración Propia

Para determinar el CML en el cilindro se ocupara la tabla con el siguiente criterio:

mts		largo		mts	# Ejes	# Ptos
	<	d	<	1	3	16-48
1	<	d	<	3	5	16-80
3	<	d	<	10	7	16-112
Cantidad de CML según diámetro						
Se estableceran 16 puntos de inspección a lo largo del diámetro en determinado eje a partir de diámetro 20 ".						
Cantidad de CML según largo						
Se estableceran 4 líneas de medición que iran transversalmente, dividiendo el área del tanque en 4 partes iguales,los puntos de inspección a lo largo iran cada 4 ".						

Tabla 2-12: Criterios de identificación de CML

Fuente: Elaboración Propia

Para inspeccionar las áreas de monitoreo se establecerán los criterios de medición según la Tabla 2-12 para tomar los puntos de medición en el cilindro del THAGA, tanto circunferenciales como transversales, según las dimensiones del Tanque Hidroneumático. Se pude observar un ejemplo de puntos de inspección en la Figura 2-3

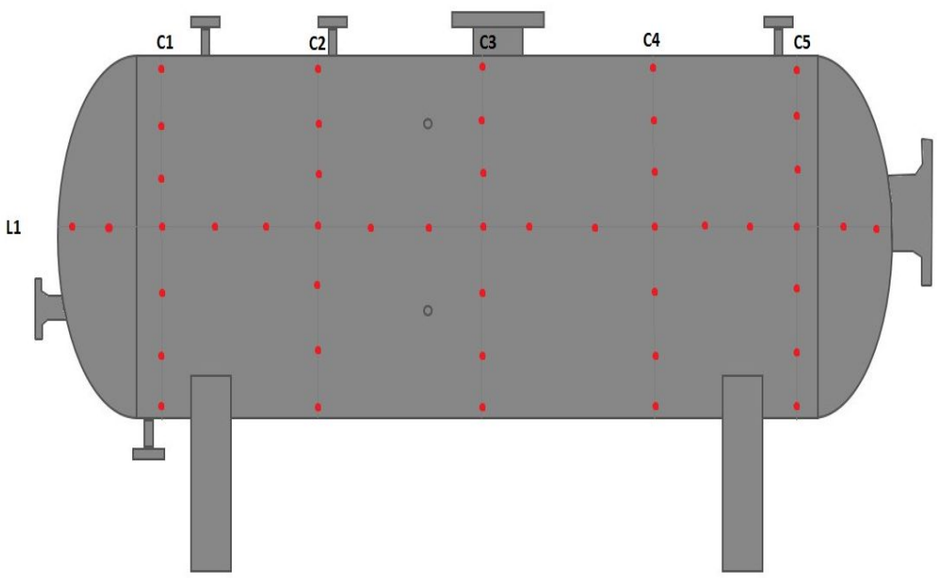


Figura 2-3: Áreas de monitoreo de inspección en el cilindro de tanque, en sentido circunferencial y sentido longitudinal

Fuente: Elaboración propia

CML[[entrada y manhole]	Espesor Original	Espesor de Alerta	Espesor mínimo	Medición
C1				
1,1				
1,2				
1,3				
1,4				
1,5				
1,6				
1,7				
1,8				
1,9				
1,1 0				
1,11				
1,12				
1,13				
1,14				
1,15				
1,16				

Tabla 2-13: registro de CML en cilindro de THAGA en sentido circunferencial y longitudinal

Fuente: Elaboración Propia

Para los cabezales se medirán los CML que estarán a 1” de la soldadura de unión con el cilindro del recipiente, también se determinara un diámetro que esté a la mitad entre el punto centro y el diámetro del cabezal del tanque. Para no dejar zonas aisladas sin monitorear. Se puede observar en la Figura 2-4.

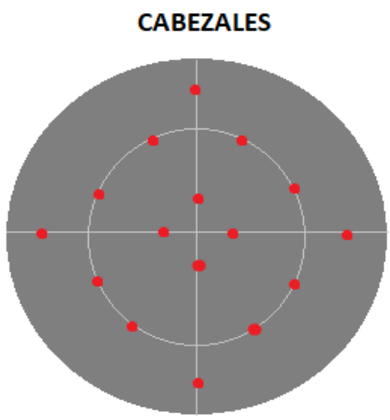


Figura 2-4: Áreas de monitoreo de inspección en el cabezal de tanque

Fuente: Elaboración Propia

Para abordar esta condición de corrosión externa, se establecerán dos criterios para evaluar el avance del mecanismo corrosivo. El primer criterio se basará en el intervalo que existe entre el espesor original del tanque y el espesor de alerta. Si la corrosión se encuentra dentro de estos márgenes se debe llevar a cabo la limpieza mecánica, se utilizará la Norma SPCC-SP-2, la cual recomienda el uso de herramientas manuales mecánicas, como herramientas eléctricas o neumáticas. Estas herramientas ayudarán a eliminar impurezas como residuos de soldadura, oxidación, pintura envejecida y otros materiales incrustados, lo cual es ideal para el trabajo requerido. seguida de la aplicación de pintura anticorrosiva.

Por otro lado, el segundo criterio aplicará cuando la corrosión haya alcanzado el espesor de alerta tanto en el cilindro como en los cabezales del tanque. En esta etapa, se realizaran reparaciones de emergencia, tales como parches o refuerzos mediante soldaduras.

Es importante mencionar que estas mediciones se realizarán a intervalos de tiempo específicos, lo que permitirá seguir la evolución del avance de la corrosión en los tanques. De esta forma, se podrá determinar la mejor opción de mantenimiento o reparación a implementar en cada caso.



Figura 2-5: Ejemplo Corrosión Externa

Fuente: Registro Golpe de Ariete, Esval

2.2.4.2 Acciones para el mantenimiento de Membrana de THAGA con Diafragma.

En primera instancia se tiene que medir y corroborar la presión de trabajo manométrica con el que el tanque trabaja para poder si ha habido una variación, si es así, se procederá a cambiar la membrana con el siguiente procedimiento:

- Medir presión del hidroneumático con manómetro del mismo equipo si este no este se medirá con uno externo
- Abrir válvula de aire y si sale fluido líquido quiere decir que la membrana está rota y se agua paso para el lado donde debería haber solo aire si hay fugas:
- Se debe empezar con cerrar las válvulas de conexión a las líneas de impulsión
- Al cerrar las válvulas nos permite desaguar el estanque. Se puede desaguar a través de la válvula a través de la línea
- Desconectar la brida que conecta el estanque con la línea
- Desmontar el estanque para poder y ponerlo en posición para poder sacar la membrana del interior
- Recambio de la membrana por una en buen estado
- Montaje del estanque
- Conexión del estanque con la o las líneas de impulsión a través de una brida.
- Abrir válvulas para reactivar el circuito
- Revisar la válvula de aire y que efectivamente este saliendo aire de lo contrario quedo mal puesta la membrana. Y se debe repetir el procedimiento para que la membrana no tenga fugas posteriores
- Conectar el compresor para llenar de aire a una presión determinada. (Especificada)



Figura 2-6: Cambio de Membrana Rota

Fuente: Registro Golpe de Ariete, Esval

2.2.4.3 Acciones para el mantenimiento de los balones de THAGA con Hydroballs

Los Hydroballs es difícil saber la cantidad de balones fallaron en un tiempo determinado, sobre todo si los manómetros están descompuestos, la única forma de saberlo es desarmar el sistema, de esta manera se puede hace una reposición de los balones.

Para el procedimiento de recambio de los balones es la siguiente:

- Luego se introducen los balones nuevos inflados todos a la misma presión
- Se cierre de escotilla superior o manola Se debe empezar con cerrar la válvula de impulsión
- Luego cerrar la válvula de aspiración
- Al cerrar las válvulas nos permite desaguar el estanque. Se puede desaguar a través de la válvula a través de la línea o si el tanque tiene válvula de desagüe, se hará por ahí el vaciado.
- Desconectar la brida que conecta el estanque con la línea
- Abertura de la escotilla superior o manola, dependiendo del volumen del tanque
- Se sacan todos los balones antiguos
- Montaje del estanque si es que se movió para sacar los balones (considerar fijaciones de los soportes)
- Conexión del estanque con la o las líneas de impulsión

- Abrir válvulas de impulsión y aspiración del sistema
- Realizar prueba de montaje.

Una vez el THAGA de Hydroballs esté en funcionamiento se debe registrar la presión, esta presión será referente para las siguientes mediciones y determinar cuando el estanque tiene un bajo rendimiento. Se puede observar un ejemplo de THAGA Hydroballs en la Figura 2-7 .En la Figura 2-8 se puede apreciar los balones cuando son retirados para su recambio.



Figura 2-7: Ejemplo THAGA con Hydroballs

Fuente: Registro Golpe de Ariete, Esval



Figura 2-8: Balones sin presión, extraídos del interior de un THAGA con Hydroballs

Fuente: Registro Golpe de Ariete, Esval

2.2.4.4 Acciones para el mantenimiento de Membrana de THAGA Automatizado

Cuando el compresor no inyecta aire al tanque quiere decir que puede estar fallando cualquiera de las partes del sistema, al ser el sistema más complejo, más elementos tendrán que chequearse y revisar.

El procedimiento es el siguiente:

- Se corta la energía del sistema.
- Verificar las membranas de las electroválvulas de entrada y despiche de aire comprimido.
- Revisar el manómetro del THAGA
- Revisar manómetro del compresor
- Revisar toda la línea de aire que va al tanque
- Revisar correa de transmisión del compresor
- Revisar el nivel de aceite del compresor
- Revisar tensión de entrada de tablero eléctrico
- Revisar tensión de salida
- Revisar relés de sondas de nivel
- Inspección general del estanque
- Medición de espesores
- Energizar tablero
- Pruebas de operación
- Equipo puesto en servicio

CAPÍTULO III: IMPLEMENTACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO Y ANÁLISIS ECONÓMICO

3. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO

Para implementar el plan de mantenimiento propuesto, se debe evaluar económicamente, para realizar una evaluación más precisa y detallada.

3.1 IMPLMENTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO SEGÚN FMECA

En cuanto a la implementación de las acciones de mantenimiento definidas en el FMECA, se observará una disminución progresiva del NPR (Numero de Prioridad de Riesgo) con cada tarea de mantenimiento propuesta. La aplicación de acciones preventivas en el FMECA resulta en una tendencia a la disminución del NPR, en gran parte gracias a los controles de medición y registros. Estos facilitan la obtención de tendencias que permiten definir los momentos óptimos para intervenir en los equipos.

A pesar de la aplicación de acciones preventivas, los modos de falla relacionados con "membrana perforada" y "balones perforados" aún se mantienen en un nivel semi-crítico. Estos modos de falla afectan particularmente a los THAGA con Diafragma y los THAGA con Hydroballs, ya que suelen presentar fallas en un mayor número de equipos y son difíciles de controlar. Además, el tiempo necesario para reemplazar estos elementos en cada tipo de THAGA es considerablemente largo, pudiendo demorar incluso días.

En contraste, el THAGA Automatizado muestra una disminución significativa en la criticidad de riesgo, debido a su capacidad para controlar la presión interna y los niveles del tanque. Este sistema que utiliza un mecanismo de amortiguación basado en aire comprimido inyectado desde un compresor, en caso de falla, es posible reparar todo el sistema sin intervenir directamente en el tanque, lo que mejora las condiciones para el mantenimiento, especialmente en líneas de Aguas Servidas.

Es importante destacar que el THAGA Automatizado ofrece el mejor diseño en términos de funcionalidad, control y mantenimiento, sin embargo, su dependencia de un sistema eléctrico de alimentación limita las ubicaciones donde se puede instalar. Por otro

lado, el THAGA Simple, al no depender de sistemas adicionales para amortiguar (solo de la presión atmosférica y el volumen interno del tanque), redujo su criticidad en el FMECA al poder controlar únicamente la corrosión externa, su único modo de falla. Esto lo convierte en una opción adecuada para lugares remotos o de difícil acceso. Los detalles de esta evaluación se encuentran detallados en la Tabla.3-1

NPR	Acciones Preventivas	S	O	D	NPR
36	Realizar Limpieza mecánica según norma SSPC y pintura anticorrosiva.	2	7	2	28
84	Realizar de medición de espesores al THAGA ,según Código API 510	2	7	3	42
441	Realizar de medición de espesores al THAGA ,según Código API 510	9	2	3	54
36	Realizar Limpieza mecánica según norma SSPC y pintura anticorrosiva.	2	7	2	24
120	Realizar de medición de espesores al THAGA según Código API 510	2	7	4	56
441	Realizar de medición de espesores al THAGA según Código API 510	9	2	3	54
252	Medición de presión de trabajo del THAGA a través de manómetro y registrar dato.	7	4	3	84
36	Realizar Limpieza mecánica según norma SSPC y pintura anticorrosiva.	2	6	2	24
108	Realizar de medición de espesores al THAGA según Código API 510	2	2	4	16
441	Realizar de medición de espesores al THAGA según Código API 510	9	2	3	54
252	Medición de presión de trabajo del THAGA a través de manómetro y registrar dato.	7	2	6	84
36	Realizar Limpieza mecánica según norma SSPC y pintura anticorrosiva.	2	7	2	24
84	Realizar de medición de espesores al THAGA según Código API 510	2	2	4	16
441	Realizar de medición de espesores al THAGA según Código API 510	9	2	3	54
126	Lectura y registro de los tableros de control y manómetros del sistema. Revisión preventiva al compresor tanto mecánica como eléctricamente.	7	3	3	63

Tabla 3-1: Mejora a través de acciones preventivas FMECA

Fuente: Elaboración Propia.

3.2 ANÁLISIS DE COSTOS DE PLAN DE MANTENIMIENTO

Una vez completado el FMECA, y determinadas las acciones de mantenimiento se procede a evaluar económicamente. Tomando en cuenta herramientas de trabajo, materiales, equipos, mano de obra y los elementos de protección.

3.2.1 Costos de Medición y Registro de Presión

Los costos asociados a la tarea preventiva de medición de presiones y monitoreo incluyen las horas de trabajo de un técnico instrumentista y un ayudante, quienes forman parte de la mano de obra requerida. Aunque los equipos THAGA cuentan con sus propios manómetros, es crucial asegurarse de que estén en perfectas condiciones para obtener mediciones precisas y registros adecuados de los datos. En caso de que algún manómetro esté dañado o poco visible, será necesario contar con manómetros adicionales.

El costo total de esta actividad también abarca los elementos de protección personales que los trabajadores deberán utilizar durante la ejecución de la labor. Es imperativo que esta acción se realice con todos los elementos de protección personal en PAS y PAP. En particular, se deben emplear los Equipos de Protección Personal (EPP) en las PAP para garantizar la seguridad de los trabajadores involucrados en el proceso de medición y monitoreo.

Todos los datos relacionados con los costos y recursos asociados a esta tarea se encuentran detallados en la Tabla 3-2.

Costos de Medición y Registro de presión de THAGA					
Mano de Obra					
Cargo	Horas	P.U. UF	UF por hora	valor UF	total
Técnico en mantenimiento	9	0,158	1,422	$ 36.064	$ 51.283
Ayudante instrumentista	9	0,149	1,341	$ 36.064	$ 48.362
Total	$				99.645
Equipo	cantidad	precio	total		
Manómetros	3	$ 30.000	$ 90.000		
Mano de Obra	1	$ 99.645	$ 99.645		
Elementos de protección personal	2	$ 129.111	$ 258.222		
Total costo	$		447.867		

Tabla 3-2 : Costos de medición y registro de presión de los THAGA

Fuente: Elaboración Propia

3.2.2 Costos de actividad de Limpieza mecánica y Pintura anticorrosiva

La acción preventiva de limpieza mecánica de los tanques y su posterior pintura tiene como objetivo proteger el acero de la corrosión causada por el medio ambiente, y asegurar que los tanques mantengan su buen estado durante el proceso. El rendimiento de la capa protectora (pintura epóxica) está directamente influenciado por su capacidad de adherirse adecuadamente a la superficie. Por lo tanto, es vital eliminar previamente a la pintura cualquier aceite, grasa, pintura vieja y otros contaminantes como cascarilla de laminación o herrumbre.

Una vez que la superficie esté preparada, se aplicará la pintura al menos en dos capas, para lo cual se deberá mezclar la pintura epóxica, el catalizador y el diluyente. La mano de obra será subcontratada y se realizarán ambas tareas (limpieza y pintura del THAGA). Por lo tanto, el costo de la mano de obra será un costo fijo para cada limpieza y pintura del tanque. Además, los procedimientos deberán estar supervisados por un representante de la empresa ESVAL S.A., quien se asegurará de que se ejecuten correctamente según los requerimientos establecidos. Los datos específicos se encuentran detallados en la Tabla 3-3

Costos Limpieza mecánica según norma SSPC y pintura anticorrosiva.			
Equipos	cantidad	precio	total
Labor de Limpieza mecánica		-	
Esmeril angular Bosh GWS 850	2	$ 45.259	$ 90.518
2 gratas	4	$ 14.190	$ 56.760
Extensiones eléctricas	2	$ 25.000	$ 50.000
Labor de Pintura		-	
Pintura epódica color azul	1	$ 60.000	$ 60.000
Catalizador	1	$ 25.000	$ 25.000
Diluyente	1	$ 25.000	$ 25.000
Rodillo	2	$ 5.000	$ 10.000
Brocha	2	$ 4.000	$ 8.000
Elementos de protección personal	2	$ 149.111	$ 298.222
Mano de obra (m2)	2	$ 200.000	$ 400.000
Total costo	$		1.023.500

Tabla 3-3: Costos de actividad de limpieza mecánica y pintura anticorrosiva.

Fuente: Elaboración Propia.

3.2.3 Costos de Medición y Registro de Espesores.

Para los costos de la actividad medición de espesores, se necesitaran los costos de la mano de obra correspondiente a un técnico en mantenimiento y ayudante instrumentista, quienes tendrán que desarrollar la inspección según el procedimiento explicado en el capítulo anterior, el instrumento para medir espesores y los elementos de protección personal. El procedimiento de inspección está basada en el Código API 510 con el que se podrá determinar si el espesor cumplir con los requerimientos. Los costos se pueden observar en la Tabla 3-4.

Costos Medición y Registro de espesor de THAGA					
Mano de Obra					
Cargo	Horas	P.U. UF	UF por hora	valor UF	total
Técnico en mantenimiento	9	0,158	1,422	36064	$ 51.283
Ayudante instrumentista	9	0,149	1,341	36064	$ 48.362
Total	$				99.645
Equipo	cantidad	precio	total		
Instrumento de medición de espesores	1	$ 450.000	$ 450.000		
Mano de Obra	1	$ 99.645	$ 99.645		
Elementos de protección personal	2	$ 129.111	$ 258.222		
Total costo	$807.867				

Tabla 3-4: Costos de actividad de medición y registro de espesor de THAGA

Fuente: Elaboración Propia

3.2.4 Costos de Reposición de la Membrana

Se han obtenido los costos asociados a la actividad correctiva de reemplazo de una membrana perforada. Cuando la membrana se encuentra perforada, es necesario realizar el cambio por una nueva, y los costos involucran la mano de obra de un equipo compuesto por un supervisor, un mecánico y un ayudante. Además, se consideran las herramientas necesarias para llevar a cabo el mantenimiento, como un juego de llaves punta corona, juego de dados, martillo, eslingas y tecle para 2 toneladas, empaquetaduras, centradores y, fundamentalmente, la membrana de repuesto.

Esta acción correctiva implica múltiples maniobras para retirar y colocar la membrana dentro del THAGA. Se contempla el desacople de la línea de impulsión y, si es necesario, el desacople de los soportes para llevar a cabo la tarea de manera óptima y en el menor tiempo posible. El costo se ha calculado considerando un tiempo de trabajo de 9 horas. En caso de que el mantenimiento de este elemento requiera más tiempo, se consideran 9 horas adicionales de trabajo.

Es importante destacar que la membrana utilizada para el cálculo es de 300 litros. Todos los datos detallados se encuentran disponibles en la Tabla 3-5 y Tabla 3-6.

Costos Actividad Reposición de Membrana Perforada					
Mano de Obra					
Cargo	Hpras	P.U. UF	UF por hora	valor uf	total
Supervisor	9	0,312	2,808	36064	$ 101.268
Mecánico	9	0,158	1,422	36064	$ 51.283
Ayudante mecánico	9	0,149	1,341	36064	$ 48.362
Total	$				200.913
Herramientas	cantidad	precio	total		
Juego de llaves punta-corona.	1	$ 45.259	$ 45.259		
Juego de dados	1	$ 30.000	$ 30.000		
Martillo	1	$ 8.000	$ 8.000		
Tecle 2T	1	$ 50.000	$ 50.000		
Eslingas	4	$ 18.000	$ 72.000		
Empaquetaduras	2	$ 20.000	$ 40.000		
Centradores	2	$ 25.000	$ 50.000		
Membrana de Repuesto	1	$ 275.219	$ 275.219		
Mano de obra	1	$ 200.913	$ 200.913		
Elementos de protección personal	3	$ 149.111	$ 447.333		
Total Costo	$		1.218.724		

Tabla 3-5 : Costos de Actiadad de Repsosición de Membrana en THAGA con Diafragma

Fuente : Elaboración Propia

Membranas Varem	Unidad	Material	Precio
19-24	Lts	butilo	$ 13.724
60	Lts	butilo	$ 55.019
100	Lts	butilo	$ 137.609
150	Lts	butilo	$ 138.415
200	Lts	butilo	$ 192.629
300	Lts	butilo	$ 275.219
500	Lts	butilo	$ 440.400
750-800	Lts	butilo	$ 825.657

Tabla 3-6: Valores de las Membranas “Varem” según la capacidad volumétrica del Tanque

Fuente: Elaboración Propia

3.2.5 Costos de actividad recambio de balones perforados.

El recambio de los balones en el THAGA (Hydroballs) requiere una programación planificada debido a la dificultad de prever las variaciones que pueden ocurrir en una pequeña cantidad de balones perforados. Asimismo, es complicado determinar el momento en el que la mayoría o todos los balones estarán perforados. Por esta razón, es crucial contar con registros de las mediciones de las presiones en estos tipos de THAGA.

Los costos asociados a esta actividad incluyen la mano de obra de un equipo compuesto por 4 personas, que consta de un supervisor, dos mecánicos y un ayudante. Las herramientas necesarias para llevar a cabo el trabajo incluyen un tecle de 2 toneladas, eslingas de 2 toneladas, juegos de llaves de punta corona, martillo, caja de dados, empaquetaduras y centradores.

Los balones se adquirirán al mismo proveedor de Hydroballs, quien ofrece tanto el servicio de instalación como los balones de repuesto. Sin embargo, para el plan de mantenimiento, solo se comprarán los balones nuevos con la presión adecuada para el THAGA con Hydroballs. Los detalles específicos se encuentran disponibles en la Tabla 3-7 y Tabla 3-8.

Costos Actividad Reposición de Balones Perforados					
Mano de Obra					
Cargo	Horas	P.U. UF	UF por hora	valor uf	total
Supervisor	9	0,312	2,808	36064	$ 101.268
Mecánico	9	0,158	1,422	36064	$ 51.283
Mecánico	9	0,158	1,422	36065	$ 51.284
Ayudante mecánico	9	0,149	1,341	36064	$ 48.362
Total	$				252.197
Herramientas	cantidad	precio	total		
Juego de llaves punta-corona.	1	$ 45.259	$ 45.259		
Juego de dados	1	$ 30.000	$ 30.000		
Martillo	1	$ 8.000	$ 8.000		
Tecle 2T	1	$ 50.000	$ 50.000		
Eslingas	4	$ 18.000	$ 72.000		
Empaquetaduras	2	$ 20.000	$ 40.000		
Centradores	2	$ 25.000	$ 50.000		
costos de compra de balones nuevos	1	3034500	$ 3.034.500		
Mano de obra	1	$ 252.197	$ 252.197		
Elementos de protección personal	3	$ 149.111	$ 447.333		
Total Costos	$		4.029.289		

Tabla 3-7: Costos de Actividad Reposición de Balones perforados

Fuente: Elaboración Propia.

Hydroballs	Valor	IVA	Valor con IVA	Valor Total
Valor servicio	$ 230.000	19%	$ 43.700	$ 273.700
Valor balones	$ 2.550.000	19%	$ 484.500	$ 3.034.500
Valor total servicio	$ 2.780.000	19%	$ 528.200	$ 3.308.200

Tabla 3-8 .Cotización de la empresa Hydroballs para la entrega de su servicio.

Fuente: Empresa Hydroballs

3.2.6 Costos mantenimiento compresor de THAGA automatizado.

Los costos del mantenimiento del compresor en el sistema automatizado incluyen la participación de un supervisor, un mecánico y un ayudante. Esta actividad requiere herramientas mecánicas, eléctricas y de inspección y medición, como linterna, lupa y pie de metro. Los detalles específicos de los costos se encuentran en la Tabla 3-9.

El mantenimiento se enfoca principalmente en una revisión preventiva tanto del compresor como de la línea de aire. Sin embargo, en caso de que el compresor sufra una falla que lo deje inhabilitado para operar, será necesario realizar una intervención correctiva para reemplazar el compresor en el sistema automatizado. Más información al respecto está disponible en la Tabla 3-10

Costos Actividad Mantenimiento a compresor (preventiva)					
Mano de Obra					
Cargo	Horas	P.U. UF	UF por hora	valor uf	total
Supervisor	9	0,312	2,808	36064	$ 101.268
Electromecánico	9	0,158	1,422	36064	$ 51.283
Ayudante mecánico	9	0,149	1,341	36064	$ 48.362
Total	$				200.913
Herramientas	cantidad	precio	total		
Tester eléctrico	1	$ 45.259	$ 45.259		
Pie de metro	1	$ 25.000	$ 25.000		
Herramientas para inspección visual	1	$ 30.000	$ 30.000		
Mano de obra	1	$ 200.913	$ 200.913		
Elementos de protección personal	3	$ 103.364	$ 310.092		
Total Costos			$ 611.264		

Tabla 3-9 Costos la actividad preventiva del compresor en THAGA automatizado

Fuente: Elaboración propia

Costos Actividad Mantenimiento a compresor					
Mano de Obra					
Cargo	Horas	P.U. UF	UF por hora	valor uf	total
Supervisor	9	0,312	2,808	36064	$ 101.268
Electromecánico	9	0,158	1,422	36064	$ 51.283
Ayudante mecánico	9	0,149	1,341	36064	$ 48.362
Total	$				200.913
Herramientas	cantidad	precio	total		
Juego de llaves punta-corona.	1	$ 35.000	$ 35.000		
Juego de dados	1	$ 30.000	$ 30.000		
Tecle 2T	1	$ 30.000	$ 30.000		
Eslingas	1	$ 15.000	$ 15.000		
Mano de obra	1	$ 200.913	$ 200.913		
Compresor nuevo	1	$ 359.990	$ 359.990		
Elementos de protección personal	3	$ 149.111	$ 447.333		
Total Costos			$ 1.083.236		

Tabla 3-10: Costos de Actividad correctiva para compresor en THAGA automatizado.

Fuente: Elaboración propia

3.2.7 Costo global del Plan de mantenimiento

		Simple		Diafragma			Hydroballs			Automatizado			
Actividad	Valor	B.E.	C.E	B.E.	C.E.	M.P.	B.E.	C.E.	B.P.	B.E.	C.E.	M.C.	Costo Global
Costos de Medición y Registro de presión de THAGA	$ 447.867	3		16	24		11	8		0	0		$ 27.767.744
Costos Limpieza mecánica según norma SSPC y pintura anticorrosiva.	$ 1.023.500				24			8					$ 32.752.000
Costos Medición y Registro de espesor de THAGA	$ 807.867	3		16	24		11	8		4	0		$ 53.319.211
Costos Actividad Mantenimiento a compresor (preventiva)	$ 611.264											7	$ 4.278.845
Costos Actividad Reposición de Membrana Perforada	$ 1.218.724					8							$ 9.749.788
Costos Actividad Reposición de Balones Perforados	$ 4.029.289								19				$ 76.556.491
Costos Actividad Mantenimiento a compresor (correctiva)	$ 1.083.236											3	$ 3.249.707
Total costo													$ 207.673.785

Tabla 3-11 Costos Globales del Plan de Mantenimiento.

Fuente: Elaboración Propia

Los costos globales del plan de mantenimiento propuesto ascienden a $207.673.785, incluyendo todas las actividades de mantenimiento, tanto correctivas como preventivas. El punto más significativo es el costo del mantenimiento correctivo de los balones en el sistema THAGA con Hydroballs, el cual es el más caro y que toma más tiempo en su reposición. Debido a estas características, el sistema THAGA con

Hydroballs resulta ser el menos favorable, ya que su monitoreo, mantenimiento y reposición de los balones resulta altamente complejo. Además, es la actividad de mantenimiento más costosa entre todas las demás.

A estas dificultades se suma un incremento de riesgo cuando el THAGA con Hydroballs se encuentra en posición de alta seguridad (PAS), debido a que el personal debe trabajar con agua contaminada y con la presencia de Ácido Sulfhídrico. La Tabla 3-11 presenta un resumen de los costos totales, incluyendo el costo total de todas las actividades correctivas relacionadas con los THAGA Hydroballs.

3.2.8 Segundo Escenario de Costos globales, reemplazando los sistemas de Hydroballs por sistema Automatizado.

		Simple		Diafragma			Hydroballs			Automatizado			
Actividad	Valor	B.E.	C.E	B.E.	C.E.	M.P.	B.E.	C.E.	B.P.	B.E.	C.E.	M.C.	Costo Global
Costos de Medición y Registro de presión de THAGA	$ 447.867	3		16	24					0	0		$ 19.258.274
Costos Limpieza mecánica según norma SSPC y pintura anticorrosiva.	$ 1.023.500				24			8					$ 32.752.000
Costos Medición y Registro de espesor de THAGA	$ 807.867	3		16	24		11	8		4	0		$ 53.319.211
Costos Actividad Mantenimiento a compresor (preventiva)	$ 611.264											26	$ 15.892.852
Costos Actividad Reposición de Membrana Perforada	$ 1.218.724					8							$ 9.749.788
Costos Actividad Reposición de Balones Perforados	$ 4.029.289												$ -
Costos Actividad Cambio de Hydroballs	$ 1.222.377											19	$ 23.225.154
Total costo													$154.197.280
Total Costo escenario 1													$207.673.785
Diferencia													$ 53.476.505

Tabla 3-12 Costos Globales del Plan de Mantenimiento (Escenario 2).

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 3-12 se presenta un escenario en el cual los costos de reposición de los balones no se consideran, siendo reemplazados por el costo de instalación de un THAGA automatizado. Además, en este escenario se incluyen acciones preventivas para los THAGA automatizados, en los cuales se realizará el reemplazo por precaución, dado que no se sabe cuándo deben cambiarse ni en qué momento. También se eliminan las actividades de medición de presión, ya que el sistema automatizado se encarga de realizar esta función automáticamente.

Como resultado, el costo total global del plan de mantenimiento muestra una diferencia de $53.476.505 con respecto al escenario anterior.

CONCLUSIONES

Los tanques hidroneumáticos para la amortiguación contra el golpe de ariete deben ser considerados desde el diseño de la línea de tuberías, ya que omitir su implementación inicial conlleva costos adicionales, tiempo adicional y deja la línea vulnerable sin protección. En cuanto a su mantenimiento, su importancia a menudo se subestima en favor de otros elementos de la impulsión, como las bombas o las válvulas.

Es crucial planificar adecuadamente el mantenimiento de estos tanques amortiguadores de golpe de ariete debido a las graves consecuencias que podría tener su mal funcionamiento. Para comprenderlo más sencillamente, si el sistema falla repentinamente en las líneas de impulsión, podría dejar sin agua a una gran parte de la población. Por otro lado, si falla en las líneas de aguas servidas, podría ocasionar rebalses en los pozos de elevación, contaminando el entorno y causando daños irreversibles a la flora y fauna, lo que resultaría en elevadas multas.

Mediante la elaboración de un plan de mantenimiento para estos equipos, hemos priorizado las fallas que más afectan la operación de la impulsión, a través de un Análisis de Modos y Efectos de Falla, asegurando una operación continua a través de acciones de mantenimiento predictivas y correctivas para los diferentes tipos de THAGA. Este análisis también nos ha permitido determinar que el sistema automatizado es el más adecuado, ya que ofrece mejores condiciones de operación al estar controlado por sensores de niveles y un compresor de acción automática. Además, este THAGA permite un mejor control y monitoreo gracias a su sistema automático. También facilita un mantenimiento más seguro, rápido y limpio para los trabajadores.

Considerando todas estas ventajas, el sistema automatizado resulta ser el de menor costo en comparación con otros tipos de THAGA. Por lo tanto, el plan de mantenimiento busca reemplazar el sistema más costoso e ineficiente, que corresponde al THAGA con Hydroballs, por este THAGA automatizado.

BIBLIOGRAFÍA

Plantas Elevadoras de Aguas Servidas con dispositivos de protección contra el Golpe de Ariete. Departamento de Mantenimiento EsvalS.A.

Plantas Elevadoras de Agua Potable con dispositivos de protección contra el Golpe de Ariete. Departamento de Mantenimiento Esval.S.A.

Hydroballs, Como funciona. (2013). Recuperado 12 de octubre de 2022, de webzine http//www.Hydroballs.com.

Hydroballs, Mantenciones. (2013). Recuperado 12 de octubre de 2022, de website http//www.Hydroballs.com.

Vogt, Estanques Hidroneumáticos. (2021). Recuperado 9 de septiembre de 2021, de http//www.Vogt.cl.

Betancourt, D.F (27 de julio de 2020) Como hacer un Análisis de Modo y Efecto de Falla Recuperado el 11 de noviembre de 2021 de Ingenio Empresa.www.ingeniempresa.com/análisis-modo-efectos-fallas-amef.

Recolección Aguas Servidas. http//www.Esval .cl

Tratamiento de Aguas Servidas. http//www.Esval .cl

Captación, Producción de Agua Potable, Trasporte y almacenamiento, Distribución. .http//www.Esval .cl

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. B31.3-2016 Code for Pressure Piping Process Piping. New York. ASME 2016.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE.RP 510 Pressure Vessel Inspection Code: In service Inspection, Rating, Repair and Alteration .API 2014.|

ANEXOS

Equipo	Descripción de la Función	TIPO de THAGA	Falla funcional	Modo de Falla	Efecto de falla	S	Causas	O	Controles	D	NPR	Acciones Preventivas	S	O	D	NPR
Sistema de Amortiguación del Golpe de Ariete con Tanque Hidroneumático.	Proteger una línea de impulsión y sus elementos principales a través de un sistema de Amortiguación del Golpe de Ariete y ser capaz de contener las variaciones de presiones con un espesor de pared de acuerdo estándares de cálculo, siguiendo estándares de operación ,limpieza y estado de los equipos. La presión de trabajo de los THAGA varían de entre 4 a 10 bares de presión en las líneas de impulsión.	Simple	No tiene el espesor requerido en el manto y/o en los cabezales	Corrosión Externa	El tanque pierde su capa de protección y pierde estética	2	Acción corrosiva de ácido sulfhídrico y/o sal de mar	9	Limpieza mecánica y pintura	2	36	**Realizar Limpieza mecánica según norma SSPC y pintura anticorrosiva.**	2	7	2	28
					Se presenta deterioro en la estructura metálica, con el que pierde su espesor por lo tanto su estabilidad y resistencia	2	Acción corrosiva de ácido sulfhídrico y/o sal de mar	7	No existe	6	84	**Realizar de medición de espesores al THAGA ,según Código API 510**	2	7	3	42
					La pared del tanque se perfora	9	Acción corrosiva de ácido sulfhídrico y/o sal de mar	7	Reparación correctiva	7	441	**Realizar de medición de espesores al THAGA ,según Código API 510**	9	2	3	54
		Diafragma	No tiene el espesor requerido en el manto y/o en los cabezales	Corrosión Externa	El tanque pierde su capa de protección y pierde estética	2	Acción corrosiva de ácido sulfhídrico y/o sal de mar	9	Limpieza mecánica y pintura	2	36	**Realizar Limpieza mecánica según norma SSPC y pintura anticorrosiva.**	2	7	2	24
					Se presenta deterioro en la estructura metálica, con el que pierde su espesor por lo tanto su estabilidad y resistencia estructural	2	Acción corrosiva de ácido sulfhídrico y/o sal de mar	10	No existe	6	120	**Realizar de medición de espesores al THAGA según Código API 510**	2	7	4	56
					La pared del tanque se perfora	9	Acción corrosiva de ácido sulfhídrico y/o sal de mar	7	Reparación correctiva	7	441	**Realizar de medición de espesores al THAGA según Código API 510**	9	2	3	54
			La presión manométrica no trabaja entre 4 a 10 bar	Membrana Perforada	La membrana no es capaz de absorber las variaciones de presiones que ocurren en la línea	7	Fatiga del material de la membrana	6	No existe	6	252	**Medición de presión de trabajo del THAGA a través de manómetro y registrar dato.**	7	4	3	84
		Hydroballs	No tiene el espesor requerido en el manto y/o en los cabezales	Corrosión Externa	El tanque pierde su capa de protección y pierde estética	2	Acción corrosiva de ácido sulfhídrico y/o sal de mar	9	Limpieza mecánica y pintura	2	36	**Realizar Limpieza mecánica según norma SSPC y pintura anticorrosiva.**	2	6	2	24
					Se presenta deterioro en la estructura metálica, con el que pierde su espesor por lo tanto su estabilidad y resistencia estructural	2	Acción corrosiva de ácido sulfhídrico y/o sal de mar	9	No existe	6	108	**Realizar de medición de espesores al THAGA según Código API 510**	2	2	4	16
					La pared del tanque se perfora	9	Acción corrosiva de ácido sulfhídrico y/o sal de mar	7	Reparación correctiva	7	441	**Realizar de medición de espesores al THAGA según Código API 510**	9	2	3	54
			La presión manométrica no trabaja entre 4 a 10 bar	Balones Rotos	La presión del conjunto de balones no es capaz de absorber las diferencia de presión de la línea.	7	Fatiga de Material de los balones/ perdida de presión de los balones	6	No existe	6	252	**Medición de presión de trabajo del THAGA a través de manómetro y registrar dato.**	7	2	6	84
		Automatizado	No tiene el espesor requerido en el manto y/o en los cabezales	Corrosión Externa	El tanque pierde su capa de protección y pierde estética	2	Acción corrosiva de ácido sulfhídrico y/o sal de mar	9	Limpieza mecánica y pintura	2	36	**Realizar Limpieza mecánica según norma SSPC y pintura anticorrosiva.**	2	7	2	24
					Se presenta deterioro en la estructura metálica, con el que pierde su espesor por lo tanto su estabilidad y resistencia estructural	2	Acción corrosiva de ácido sulfhídrico y/o sal de mar	7	No existe	6	84	**Realizar de medición de espesores al THAGA según Código API 510**	2	2	4	16
					La pared del tanque se perfora	9	Acción corrosiva de ácido sulfhídrico y/o sal de mar	7	Reparación correctiva	7	441	**Realizar de medición de espesores al THAGA según Código API 510**	9	2	3	54
			La presión manométrica no trabaja entre 4 a 10 bar	Compresor no inyecta presión	El tanque Hidroneumático no acumula la presión que necesita para amortiguar al Golpe de Ariete y las variaciones de presión	7	Avería del compresor por falla mecánica y/o Falla Eléctrica	6	No existe	3	126	**Lectura y registro de los tableros de control y manómetros del sistema. Revisión preventiva al compresor tanto mecánica como eléctricamente.**	7	3	3	63

Anexo A (FMECA)