

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

**"Propuesta de mejora de la planta elevadora de aguas servidas en
Limache"**

Trabajo de Titulación para
optar al título de Ingeniero
en mantenimiento
industrial

Alumno:

Sr. Matías Manuel Ramírez
Vilches

Profesor Guía:

Mg. Ing. Alejandro Badilla
Bello

RESUMEN

Keywords: PLANTA ELEVADORA DE AGUAS SERVIDAS, ANALISIS DE CRITICIDAD, DIAGRAMA ISHIKAWA, 5 POR QUE, MEDIO AMBIENTE

El objetivo que se quiere alcanzar con este trabajo; es mejorar sustancialmente todos los procesos de funcionamiento de la planta elevadora de aguas servidas de Limache, disminuyendo las fallas de sus componentes, reduciendo el impacto en el medio ambiente, y manteniendo el prestigio de la empresa evitando rebases.

La metodología que será utilizada para desarrollar la propuesta es la de análisis causa raíz, el cual, nos permitió recabar la información necesaria unificándola en un diagrama de Ishikawa y encontrando causa basal utilizando los 5 por qué. Con lo anterior es que se desarrollaron propuestas de mejora y un análisis económico de estas.

Como principal resultado se debe destacar la generación de propuestas de mejoramiento con el fin de optimizar los procesos de la planta con el fin de evitar rebases a canal aledaño, propuestas fueron enfocadas en motobombas, Piping de sentina, sistema golpe de ariete, reja estática.

Lo mencionado anteriormente converge en la propuesta de mejoramiento de la PEAS buscando reducir las fallas de equipos y por tanto el impacto ambiental mejorando el prestigio de la empresa.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES DE LA EMPRESA	3
1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA	4
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.	4
1.2. ÁREA DE CONSECIÓN Y COBERTURA	4
1.3 PROPIEDAD Y CONTROL	5
1.4 MISIÓN	6
1.5 VISIÓN	6
1.6 ESQUEMA PRODUCTIVO DE LA EMPRESA	6
1.7 ELEMENTOS DE PEAS Y NORMATIVAS APLICABLES ...	13
1.7.1 Motobomba:	13
1.7.2 Golpe de ariete:	13
1.7.3 Válvula:	13
1.7.4 Variador de frecuencia.....	14
1.7.5 Teclé:	14
1.7.6 Normativas.	14
1.8 PROBLEMÁTICA	15
1.8.1 ANTECEDENTES ESTRUCTURALES DE PLANTA	16
1.8.1.1 Motobomba	16
1.8.2 Golpe de Ariete.....	17
1.8.3 Cámara de Válvulas.....	18
1.8.4 Teclé Eléctrico	18
CAPITULO 2: DESARROLLO TÉCNICO DE PROPUESTA	23

2.1 ANÁLISIS CAUSA RAÍZ.....	24
2.1.1 Definición del problema.....	25
2.1.2 Antecedentes técnicos de planta.....	25
2.1.3 Identificación de causas posibles del problema.....	31
2.2.1 ANALISIS MEDIANTE FMECA.....	36
2.2.1.1 DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO DE PEAS LIMACHE.....	36
2.2.2 ANALISIS ECONOMICO DE FALLAS	44
2.2.1 Obstrucción de motobomba.....	45
2.2.2 Pérdida de fase de bomba.....	46
2.2.3 Falla de reja estática	47
2.2.4 Falla de ambas bombas.....	49
CAPITULO 3: PROPUESTA DE MEJORAMIENTO Y CONCLUSIONES	52
3. ANALISIS TECNICO DE PROPUESTAS DE MEJORA	53
3.1.1 Análisis de problemáticas de modulación de motobomba	53
3.1.2 Mejoramiento Piping sentina.....	56
3.1.3 Cambio de sistema de Golpe de Ariete.....	58
3.1.4 Cambio de Reja estática o Fija.	60
3.1.5 Planes de acción de mejoramiento en el corto plazo	61
3.2 Análisis económico de propuestas de mejora	61
CONCLUSIONES	64
BIBLIOGRAFÍA.....	65
ANEXOS	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Tipos de uso de agua.....	7
Figura 1.2: Red de aguas servidas.....	8
Figura 1.3: Red de transporte de aguas servidas	8
Figura 1.4: Empleo de plantas elevadoras.....	9
Figura 1.5: Macro colectores.....	9
Figura 1.6: Proceso de descontaminación	10
Figura 1.7: Lodos generados	11
Figura 1.8: Fuentes superficiales.....	12
Figura 1.9: Motobomba sumergible referencial	17
Figura 1.10: Plano de ubicación PEAS Limache	22
Figura 2.1: Gráfico de funcionamiento de bomba por una hora	26
Figura 2.2: Parámetros de variador de frecuencia.....	26
Figura 2.3: Grafico de funcionamiento de bomba por 4 horas.....	27
Figura 2.6: Reja estática	30
Figura 2.7: Escombros extraídos de motobomba	30
Figura 2.8: Diagrama Ishikawa	33
Figura 3.1: Gráfico de funcionamiento de bomba por 4 horas.....	54
Figura 3.2: Motobomba sumergible Flygt c3240.....	55
Figura 3.3: Modulación de motobomba	56
Figura 3.4: Formato de venta de MasterSeal M790	57
Figura 3.5: Elementos de sistema de golpe de ariete neumático con compresor	59
Figura 3.6: Esquema reja automática HUBER.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1	19
Tabla N° 2.....	44
Tabla N° 3.....	45
Tabla N° 4.....	47
Tabla N° 5.....	48
Tabla N° 6.....	48
Tabla N° 7.....	48
Tabla N° 8.....	48
Tabla N° 9.....	50
Tabla N° 10.....	50
Tabla N° 11	51
Tabla N° 12.....	51
Tabla N°13.....	62

SIGLAS Y SÍMBOLOS

m	:	Metro
Kw	:	Kilowatt
ACR	:	Análisis causa raíz
PEAS	:	Planta elevadora de aguas servidas
NCh	:	Norma chilena
l/s	:	Litros por segundo
SISS	:	Superintendencia de servicios sanitarios
DEMA	:	Departamento de mantenimiento

INTRODUCCIÓN

El crecimiento urbano y el incremento en la generación de aguas residuales presentan desafíos significativos para las infraestructuras de saneamiento. Las plantas elevadoras de aguas servidas desempeñan un papel crucial en la conducción de aguas hacia las estaciones de tratamiento, pero su operación no está exenta de riesgos. Uno de los problemas recurrentes es el rebase, el cual puede ocasionar vertidos no controlados, generando impactos negativos en los ecosistemas y en la salud pública.

En este contexto, la presente propuesta tiene como objetivo implementar un plan integral de mejoramiento para la planta elevadora de aguas servidas de la ciudad de Limache, con el fin de optimizar su capacidad operativa, prevenir situaciones de sobrecarga y reducir al mínimo el impacto ambiental en caso de eventos imprevistos. A través de la modernización de equipos, la incorporación de tecnologías de monitoreo en tiempo real y el desarrollo de sistemas de respuesta rápida, buscamos garantizar un funcionamiento eficiente, sostenible y resiliente ante las crecientes demandas del entorno.

Este documento detalla las acciones específicas a considerar, justificando su necesidad en base a estudios técnicos y normativas vigentes, con el propósito de contribuir al cuidado del medio ambiente y al bienestar de la comunidad circundante.

OBJETIVO GENERAL

Proponer mejora para elevadora de aguas servidas, mediante estudio técnico-económico, minimizando el riesgo ambiental

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar antecedentes históricos de "PEAS" mediante información técnica, encontrando puntos de mejora para propuesta.
- Identificar alternativas tecnológicas y operacionales mediante revisión del estado del arte afin de elaborar propuesta.
- Elaborar propuesta de mejora en base a alternativas seleccionadas, cuantificando costos y beneficios para minimizar el riesgo ambiental.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.

Esva es una empresa que se dedica a la distribución de agua potable, recolección, tratamiento y disposición de aguas servidas, efectuando otras prestaciones relacionadas con dichas actividades, en la forma y condiciones establecidas en la ley. Al igual que las demás sanitarias del país, es un monopolio natural regulado, al ser la única empresa de servicios dentro del área de concesión asignada.

1.2. ÁREA DE CONCESIÓN Y COBERTURA

El territorio operacional de la Compañía comprende las áreas urbanas de la Región de Valparaíso exceptuados los sectores entregados en concesión a servicios particulares o municipales—, más aquellas zonas de expansión contempladas dentro de los planes de desarrollo que aprueba la Superintendencia de Servicios Sanitarios, de acuerdo con lo establecido en la Ley N° 18.777 y en el decreto N° 2.166/78 y 69/89, ambos del Ministerio de Obras Públicas.

Adicionalmente, presta servicios de agua potable a otras localidades, fuera del área de concesión en la comuna de Algarrobo,

en base a convenios suscritos con las comunidades de Algarrobo Norte, Mirasol y Las Brisas.

El 25 de noviembre de 2003, se adjudicó mediante licitación pública, el derecho de explotación por 30 años de las concesiones de la Región de Coquimbo. Para tales efectos, el día 4 de diciembre de 2003 se constituyó la filial Aguas del Valle, que produce y distribuye agua potable; recolecta, descontamina y dispone aguas servidas, para lo cual realiza además las prestaciones relacionadas a dichas actividades, en los términos establecidos en el DFL N°382 de 1988, del Ministerio de Obras Públicas, y demás normas aplicables.

El ente que regula la actividad de la Compañía y el sector sanitario en su conjunto es la Superintendencia de Servicios Sanitarios, creada en 1990, a través de la Ley N°18.902, con el objeto de garantizar a la población que la prestación de los servicios sanitarios, en cuanto a cantidad, calidad y precio corresponden al ofrecido y son posibles de sostener en el largo plazo, y que el agua, una vez utilizada, será tratada y dispuesta en consonancia con el desarrollo sustentable.

1.3 PROPIEDAD Y CONTROL

Los controladores son Ontario Teacher's Pension Plan (OTPPB) y MAREC. Durante 2023 hubo un cambio en el porcentaje de participación de Inversiones de OTPPB Chile II Ltda., de 94,19% a 94,35%. Ambos poseen en conjunto el 99% de las acciones serie A, lo que se traduce en la propiedad del 94,35%

de los derechos políticos de la Compañía, 30% en poder de OTPPB y el 64% en MARECO.

1.4 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.

1.5 VISIÓN

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

1.6 ESQUEMA PRODUCTIVO DE LA EMPRESA

Recolección de aguas servidas

Cuando el agua potable ya ha sido ocupada para fines domésticos, industriales u otro tipo de actividades, se transforma en aguas servidas, o también llamadas aguas negras o aguas residuales.



Fuente: Esva S.A

Figura 1.1: Tipos de uso de agua

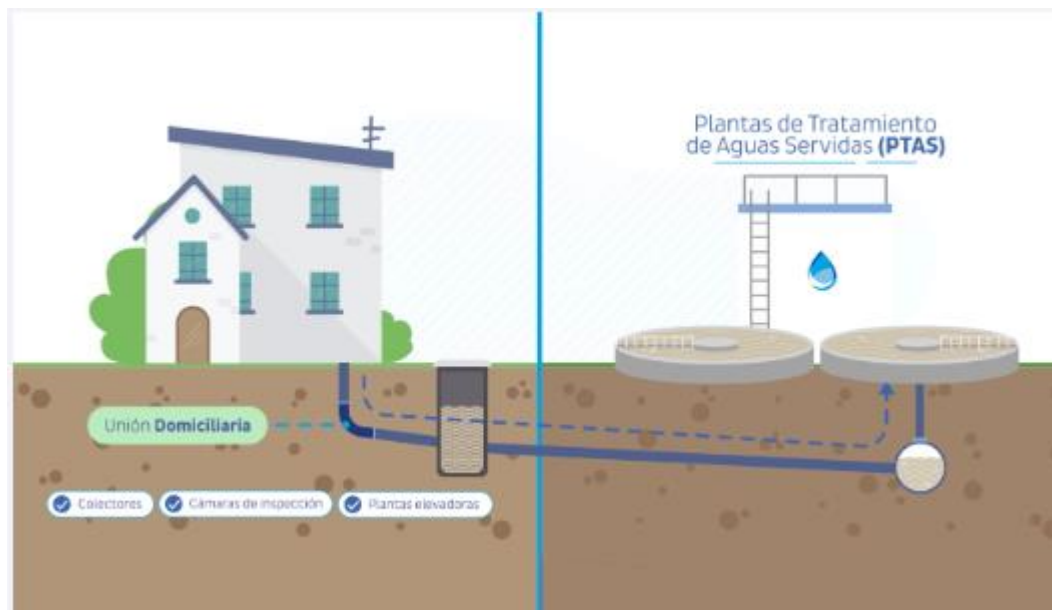
Las redes interiores de cada hogar descargan las aguas servidas en la última cámara de la propiedad, llamada unión domiciliaria, la que se empalma a una red de conducciones compuesta por colectores y elementos como cámaras de inspección, plantas elevadoras, entre otros.



Fuente: Esva S.A

Figura 1.2: Red de aguas servidas

A través de esta red se transportan las aguas servidas hasta nuestras plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS). Este sistema funciona por gravedad, escurriendo desde los puntos más altos a los más bajos.



Fuente: Esva S.A

Figura 1.3: Red de transporte de aguas servidas

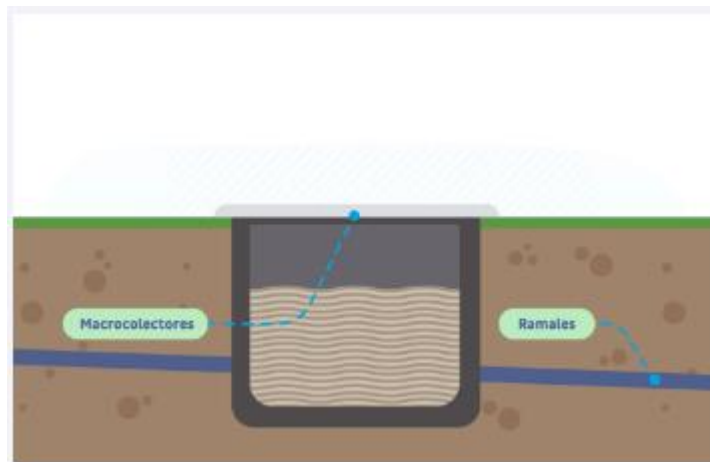
Si por las condiciones geográficas esto no es posible, se emplean plantas elevadoras que permiten llevar las aguas servidas a un punto más alto para que continúen su escurrimiento gravitacional.



Fuente: Esva S.A

Figura 1.4: Empleo de plantas elevadoras

Cuando la red se ve obligada a transportar una mayor cantidad de aguas servidas, el tamaño de los colectores aumenta. Un ejemplo de esto, son los macro colectores o aquellos ramales principales que descargan el agua ya utilizada en las PTAS.



Fuente: Esva S.A

Figura 1.5: Macro colectores

Actualmente la empresa recolecta aguas servidas a través de más de 3596 kilómetros **de red de alcantarillado**, las que son tratadas en plantas para luego devolverlas saneadas a ríos y esteros en condiciones adecuadas para ser utilizadas como riego

Tratamiento de aguas servidas



Fuente: Esva S.A

Figura 1.6: Proceso de descontaminación

Una vez que las aguas servidas llegan a las PTAS, los equipos ejecutan el proceso de descontaminación hasta alcanzar el nivel exigido por la normativa chilena DS90 para, posteriormente, reintegrarla al medio ambiente.

Para conseguir su saneamiento, las aguas servidas son sometidas a los siguientes procesos:

Pretratamiento:

Un sistema mecanizado retira la arena y basura del agua para después enviarlas a sitios de disposición final.

Tratamiento secundario

Se retira la materia orgánica presente en las aguas por medio de la degradación por bacterias. Luego de este proceso, el residuo o lodo es separado del agua por decantación.

En la etapa de tratamiento, los lodos obtenidos son deshidratados y trasladados a rellenos sanitarios, mono rellenos y a predios forestales y/o agrícolas para disposición benéfica.



Fuente: Esva S.A

Figura 1.7: Lodos generados

Desinfección

El agua obtenida de los procesos anteriores es, finalmente, desinfectada con gas cloro y descargada en fuentes superficiales como ríos y esteros.



Fuente: Esva S.A

Figura 1.8: Fuentes superficiales

Plantas elevadoras

Las estaciones elevadoras son sistemas que permiten evacuar las aguas residuales en sectores donde no es posible un escurrimiento gravitacional hacia colectores, emisarios, plantas de tratamiento o disposición fina, considerando principalmente el caudal a evacuar y la energía para vencer la altura geométrica total de elevación, las pérdidas por roce y singularidades. (Nch 2472, 2000)

1.7 ELEMENTOS DE PEAS Y NORMATIVAS APLICABLES

A continuación, se describen los equipos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema de la planta, además de las normativas bajo las cuales se construyen y operan las plantas elevadoras de aguas servidas

1.7.1 Motobomba:

Se entenderá como motobomba a las “maquinas que se emplean para bombear líquidos de un lugar a otro, sin importar el fluido. Se emplean, en su mayoría, para desocupar piscinas, pozos sépticos, regar cultivos y abastecer de agua un lugar, entre otros”. (Hidromec, 2018)

1.7.2 Golpe de ariete:

La definición de tanque hidroneumático o tanque golpe de ariete se describe de la siguiente forma “El tanque hidroneumático es el dispositivo más idóneo para la protección anti-ariete de impulsiones y demás sistemas de transporte de fluidos ya que no solo protege la tubería de las presiones negativas durante el transitorio hidráulico, sino también de las sobre presiones cuando estas aparecen.” (Ingeniería de fluidos, 2016)

1.7.3 Válvula:

Para definir que es una válvula se tomara la definición según la RAE

“Mecanismo que regula el flujo de la comunicación entre dos partes de una maquina o sistema.” (Real Academia Española, 2020)

1.7.4 Variador de frecuencia:

Para los técnicos de ABB este elemento se puede definir de la siguiente forma “Es un regulador industrial que se encuentra entre la alimentación energética y el motor.

La energía de la red pasa por el variador y regula la energía antes de que esta llegue al motor para luego ajustar la frecuencia y la tensión en función de los requisitos del procedimiento.

Los variadores reducen la potencia de salida de una aplicación, como una bomba o un ventilador, mediante el control de la velocidad del motor, garantizando que no funcione a una velocidad superior a la necesaria.” (ABB, 2020)

1.7.5 Tecele:

El tecele se considera un mecanismo de izaje que tiene como función facilitar el levante de cargas de alto tonelaje. Los tecles manuales de cadena son ideales para facilitar el traslado de cargas sumamente pesadas. Se recomienda para la movilización de diferentes tipos de productos, también para la instalación de cañerías, tubos y bombas de agua.

1.7.6 Normativas.

Para realizar algún proyecto sanitario o cualquier tipo de trabajo, estos son regularizados mediante normas, según la INN (Instituto Nacional de Normalización) define la Norma como “Un documento de conocimiento y uso público, aprobado por consenso y por un organismo reconocido. La norma establece, para usos comunes y repetidos, reglas, criterios o características para las actividades o sus resultados y procura la obtención

de un nivel óptimo de ordenamiento en un contexto determinado.” (INN, 2016)

Es por ello, que en esta tesis se utilizara las siguientes normas:

1.7.7 Norma 2472: Aguas Residuales – Plantas elevadoras – Especificaciones Técnicas.

Esta norma establece las disposiciones mínimas de diseño a las que se debe ajustar los proyectos de elevación mecánica de aguas residuales en los sistemas de alcantarillado. Esta norma se aplica a todos los tipos de plantas elevadoras de aguas residuales, cualquiera que sea el tipo de motobomba utilizada, también se aplica, parcial o totalmente, a plantas elevadoras de aguas lluvias. Esta norma no se aplica a planta elevadoras de agua potable y de residuos industriales líquidos. (Nch 2472, 2000)

1.7.8 Norma 410: Calidad del agua - Vocabulario

Esta norma establece el significado de los principales términos empleados en ciertos campos de la caracterización de la calidad del agua. Se aplica a los términos relacionados con el agua y con las aguas residuales. (Nch 643, 1970)

1.8 PROBLEMÁTICA

A continuación, se describen las características operacionales de la PEAS Limache en base a los registros de construcción que se encuentran en la empresa sanitaria, con el fin de contrastar la proyección realizada con la realidad actual.

1.8.1 ANTECEDENTES ESTRUCTURALES DE PLANTA

En los años 2000 – 2001 la empresa ESVAL presenta un proyecto de centralización de los receptores de agua servida que se encuentran en la ciudad de Limache para su previo tratamiento, ya que en aquellos tiempos los colectores que se encontraban en la ciudad vertían de forma directa e independiente sin ningún tipo de tratamiento llegando de forma directa al Río Aconcagua. Es por eso, que se decide crear una Planta Elevadora de Agua Servida (PEAS), la cual tendrá la función de centralizar todas las aguas servidas generadas en la ciudad y ser impulsadas a la Planta de Tratamiento de Agua Servida (PTAS) más cercana, la cual se encuentra en el sector de Quillota llamada “PTAS El Molino”.

Estructuralmente la planta de Limache cuenta con los siguientes elementos:

1.8.1.1 Motobomba

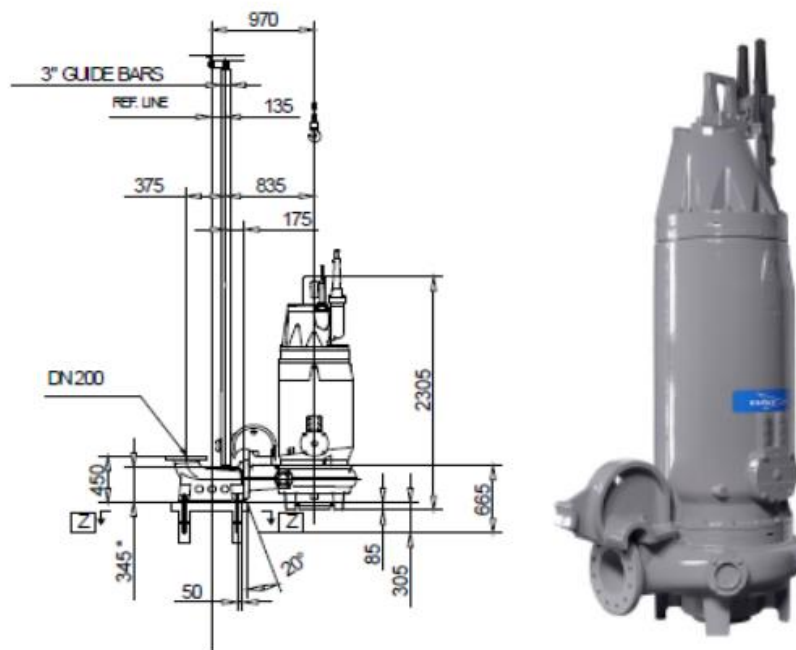
Se decide seleccionar motobombas de motor sumergible, las cuales se instalaron en un pozo donde se centralizan las aguas servidas. Las motobombas que, por diseño de la planta, deben tener las siguientes características.

Caudal: 160 (l/s)

Altura: 80 (m)

Potencia: 186 (Kw)

Estas se instalaron mediante izaje y bajadas a través de tubos guías, llegando a un codo patín en donde se conectó a la línea de impulsión.



Fuente: Página web Flygt

Figura 1.9: Motobomba sumergible referencial

1.8.2 Golpe de Ariete

Se caracteriza por ser del tipo Hidro Ball (Estanque con la presencia de balones con aire) lo que nos impedirá tener roturas en la línea de impulsión.

Este equipo contiene las siguientes características:

Marca: Vogt
 Modelo: HVG 2300
 Espesor: 10 [mm]
 Fluidos: Agua Servidas

Amortiguadores: Balones de 280 [mm]

1.8.3 Cámara de Válvulas

En esta cámara se encontrarán dos tipos de válvulas (a) Válvulas del tipo compuerta y (b) Válvulas Check del tipo Bola, teniendo las siguientes características:

Las Válvulas de Compuerta son del tipo brida – brida con diámetro Nominal de 450 [mm], con un centro de elastómero que nos permite la poca posibilidad de falla por corrosión.

La válvula de bola también es del tipo brida – brida con diámetro nominal de 450 mm, la bola es de un tipo de elastómero que nos permite que su forma sea difícil de obstruirse.

1.8.4 Tecele Eléctrico

Este elemento de izaje nos permite levantar aquellos equipos que se instalan en el pozo de aspiración. El equipo tiene una capacidad de 4 toneladas.

Se describen las características operacionales de la PEAS Limache en base a los registros de construcción que se encuentran en la empresa sanitaria, con el fin de contrastar la proyección realizada con la realidad actual.

En la memoria realizada, se proyectó hasta el año 2024 un caudal máximo de trabajo de 172 litros por segundo como se muestra en la tabla a continuación:

Tabla N°1

Proyección demanda agua potable dentro de territorio operacional PEAS
Limache

Año	Población Total en T.O. Hab.	Cobertura AP %	Población Abastecida Hab.	Índice Habit. Hab/viv	Clientes Nº	Dotaciones de Consumo		Caudales de Consumo			Pérdidas Prod+ Distrib %	Caudal Qmedio l/s
						Población l/hab/día	Clientes m ³ /cli/mes	Qmedio l/s	Qmáx diario l/s	Qmáx horario l/s		
2020	44.792	99,31%	44.484	3,10	14.349	163,0	15,4	83,9	107,4	161,1	30,23%	120,3
2021	45.240	99,33%	44.937	3,06	14.699	164,3	15,3	85,5	109,3	164,0	30,23%	122,5
2022	45.621	99,34%	45.322	3,01	15.048	165,7	15,2	86,9	111,2	166,8	30,23%	124,6
2023	45.988	99,36%	45.693	2,97	15.398	167,1	15,1	88,3	113,0	169,6	30,23%	126,6
2024	46.347	99,37%	46.057	2,92	15.747	168,4	15,0	89,8	114,9	172,3	30,23%	128,7
2025	46.700	99,39%	46.415	2,88	16.097	169,0	14,8	90,8	116,2	174,3	30,23%	130,1
2026	47.049	99,40%	46.769	2,84	16.446	169,7	14,7	91,8	117,5	176,3	30,23%	131,6
2027	47.395	99,42%	47.120	2,81	16.796	170,2	14,5	92,8	118,8	178,2	30,23%	133,1
2028	47.737	99,43%	47.467	2,77	17.145	170,8	14,4	93,8	120,1	180,1	30,23%	134,5
2029	48.075	99,45%	47.810	2,73	17.495	171,3	14,2	94,8	121,3	182,0	30,23%	135,9
2030	48.411	99,47%	48.152	2,70	17.844	171,8	14,1	95,8	122,5	183,8	30,23%	137,2
2031	48.746	99,48%	48.493	2,67	18.194	172,3	14,0	96,7	123,7	185,6	30,23%	138,6
2032	49.084	99,50%	48.836	2,63	18.543	172,7	13,8	97,6	124,9	187,4	30,23%	139,9
2033	49.421	99,51%	49.179	2,60	18.893	173,1	13,7	98,5	126,1	189,1	30,23%	141,2
2034	49.762	99,53%	49.526	2,57	19.242	173,5	13,6	99,5	127,3	190,9	30,23%	142,5
2035	50.109	99,54%	49.878	2,55	19.592	173,9	13,5	100,4	128,4	192,6	30,23%	143,8

Fuente: Plan desarrollo 2020 ESVAL

Gráfica de evolución de población, clientes y volumen por año.



Fuente: elaboración propia

En la siguiente grafica se aprecia como la población, el número de clientes y por tanto el consumo en volumen va en aumento, lo que genera la necesidad de mejora y optimización de PEAS Limache.

Según la última medición realizada a mediados del año 2024 en la planta ingresa un caudal máximo de 179 litros por segundo. Siendo mayor a lo considerado por diseño, lo que genera que en ciertos horarios operen los dos grupos disponibles en la planta. diseño, lo que genera que en ciertos horarios operen los dos grupos disponibles en la planta.

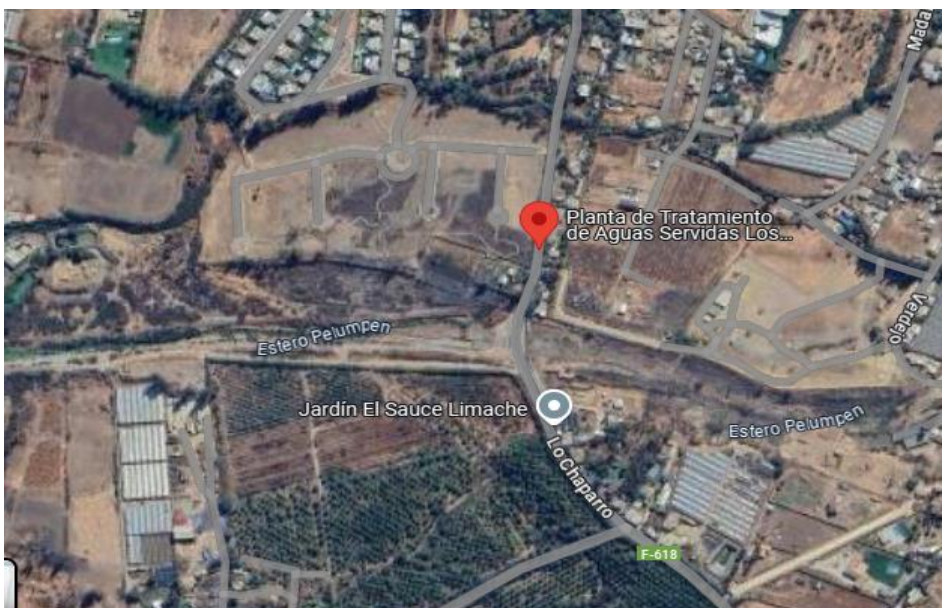
Al momento de fallar una bomba se debe realizar el traslado de un equipo de respaldo que se encuentra en la Planta PTAS El Molino ubicada en Quillota, por lo que, si el equipo que se encuentra montado no es capaz de mantener o bajar nivel de pozo, por lo tanto, se deben utilizar camiones limpia fosas para mantener el caudal por debajo de la línea de rebase.

El sistema de bypass que se encuentra en la planta presenta una conexión simple por brida lo que permite la instalación de una motobomba, es importante destaca que el sistema bypass no presenta codo patín por lo que al ser instalada se debe mantener sostenida a través de un tecele mecánico o algún camión pluma.

Si se presentara algún problema de carácter grave como por ejemplo que ambas bombas principales se encontraran obstruidas y el equipo de

respaldo no fuera capaz de mantener el sistema por debajo de la línea de rebase. Se tendría que utilizar alrededor de 27 camiones limpia fosas de forma continua para mantener una operación de manera estable.

Todas estas maniobras se deben realizar ya que la planta se encuentra a pocos metros del Estero Limache arriesgando multas, las cuales son indicadas por la SISS.



Fuente: Google maps

Figura 1.10: Plano de ubicación PEAS Limache

CAPITULO 2: DESARROLLO TÉCNICO DE PROPUESTA

2.1 ANÁLISIS CAUSA RAÍZ

Con el fin de analizar técnicamente la planta y sus falencias, se realizó un análisis de causa raíz.

El análisis de causa raíz (ACR) es una metodología de resolución de problemas utilizada en diversas industrias para identificar las causas fundamentales de los fallos o deficiencias en los procesos operativos (Andersen & Fagerhaug, 2006). A diferencia de los enfoques tradicionales que abordan solo los síntomas de un problema, el ACR busca profundizar en las causas subyacentes, lo que permite implementar soluciones que prevengan la recurrencia de los problemas a largo plazo (Juran & Godfrey, 1999).

La planta ha experimentado dificultades para mantener el flujo adecuado, lo que ha afectado el rendimiento de las motobombas y otros sistemas clave. Al identificar las causas fundamentales de estos problemas, se busca no solo resolver el inconveniente inmediato, sino también implementar un plan de mejora que optimice el funcionamiento de la planta y la capacidad de tratamiento de aguas residuales a largo plazo.

Problema: La planta de tratamiento de aguas servidas está experimentando un aumento de caudal, lo que ha provocado que las bombas no puedan impulsar el flujo de aguas residuales de manera adecuada. Este aumento en el caudal se debe al crecimiento de la

población de la zona. Esto ha derivado en diversos problemas operativos, como el mal funcionamiento de las bombas, obstrucción en la reja estática, y sobrepresión en el sistema, generando riesgo de fallos y rebases que a su vez provocan alto impacto ambiental.

2.1.1 Definición del problema

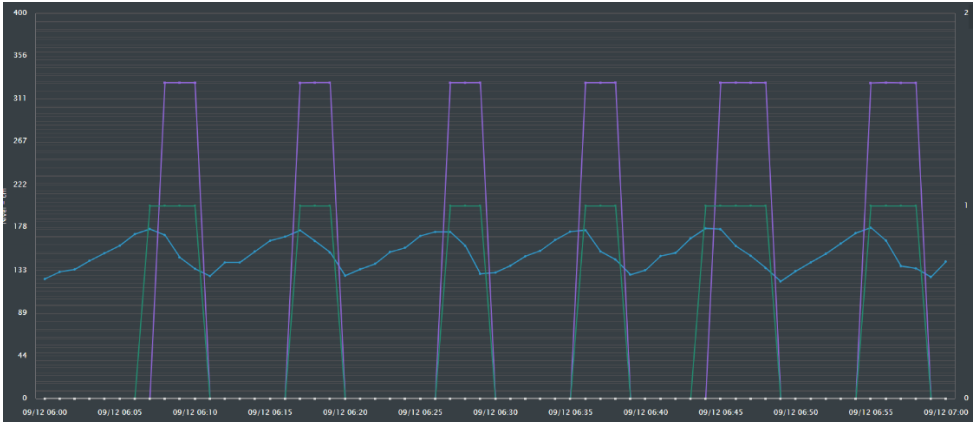
El aumento en el caudal de aguas residuales debido al crecimiento poblacional de la zona ha sobrepasado la capacidad de la planta de tratamiento, específicamente la de las 3 motobombas. Como consecuencia, las bombas no logran impulsar el flujo de aguas residuales adecuadamente. Además, otros componentes del sistema, como la reja estática, las válvulas de compuerta, la válvula de bola, el sistema de golpe de ariete y el tecele eléctrico, también están siendo impactados por este aumento de flujo.

2.1.2 Antecedentes técnicos de planta

Falla de proceso de modulación

Esta planta se considera crítica debido a que trabaja con las bombas de forma intercalada, pero con una secuencia de encendido y parada en periodos cortos. Esto se debe a que los equipos trabajan sin una variación de frecuencia la cual se encuentra fija a los 54 y 58 [Hz] por lo que su rango de modulación que se puede considerar para este tipo de equipos es muy bajo teniendo consecuencia cortes parciales y totales de los ejes de la motobomba debido a las vibraciones que se presentan durante las partidas y paradas.

En el siguiente gráfico se muestra el funcionamiento de una motobomba trabajando 1 hora, donde se puede apreciar que el equipo presenta 6 ciclos de partida y parada, lo que con el tiempo traerá posiblemente fallas por excesivas detenciones de los equipos.



Fuente: Centro de inteligencia operacional ESVAL

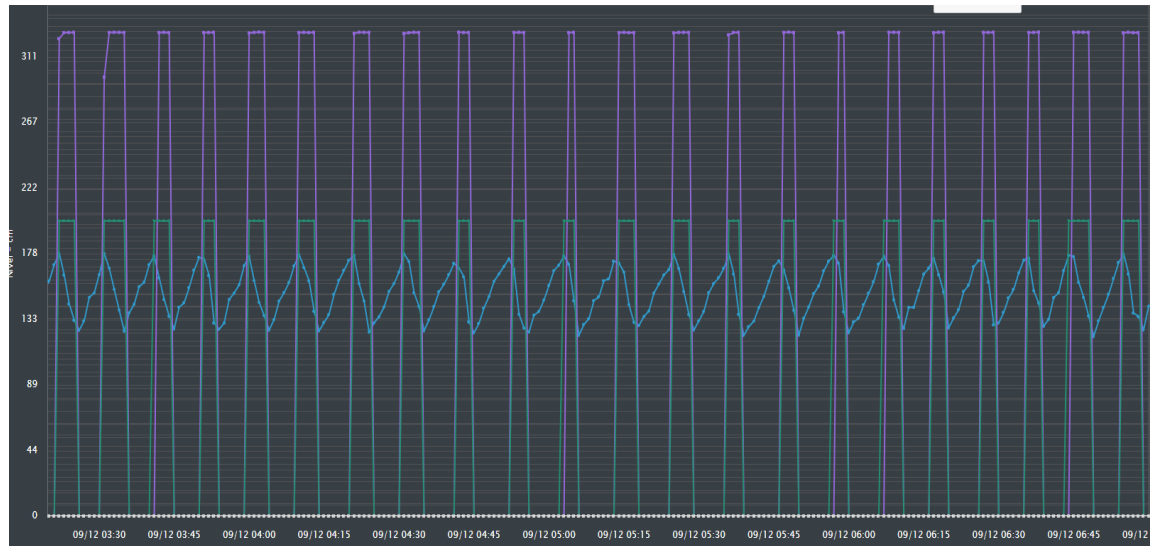
Figura 2.1: Gráfico de funcionamiento de bomba por una hora



Fuente: Imagen tomada en visita a planta

Figura 2.2: Parámetros de variador de frecuencia

A continuación, se presentan el ciclo de funcionamiento durante 4 horas aproximadamente, se aprecia que presenta 21 partidas y paradas.



Fuente: Centro de inteligencia operacional ESVL

Figura 2.3: Grafico de funcionamiento de bomba por 4 horas

Falla de Piping

La planta presenta la capacidad de poder instalar una tercera motobomba, pero no es capaz debido a que en su cimiento presenta una inclinación, lo que perjudica la instalación del equipo. Debiendo ser guardada y utilizada como respaldo en caso de emergencia. El sistema de bypass no presenta un sistema en donde se pueda conectar una motobomba de forma segura. Ya que al momento de necesitarla se debe mantener sostenida por un tecele mecánico para su funcionamiento, corriendo el riesgo de cualquier problema que se pueda producir en el tecele, perdamos el correcto funcionamiento de la motobomba cayéndose al pozo.

Falla golpe de ariete

Su golpe de ariete no presenta ninguna mantención preventiva en los últimos 2 años, por lo que su funcionamiento no es lo esperado, teniendo como consecuencia roturas de la impulsión en sectores críticos, como por ejemplo en el área de la línea ferroviaria con dirección a Quillota.



Fuente: Centro de inteligencia operacional ESVAL

Figura 2.4: Plano impulsión AS Limache-Quillota



Fuente: Centro de inteligencia operacional ESVAL

Figura 2.5: Puntos críticos impulsión AS Limache-Quillota

Falla reja estática

La planta presenta una reja estática que no cumple con los requisitos para evitar la presencia de objetos contundentes que dañen el correcto funcionamiento de los equipos, teniendo como consecuencia la obstrucción de las motobombas y como indica la Norma Nch “Las plantas elevadoras deben incluir cámaras de rejillas al ingreso de las aguas residuales para retener los sólidos que las bombas no puedan impulsar, salvo justificación técnica en contrario. El diseño debe contemplar, además, las condiciones adecuadas para el retiro de los sólidos retenidos; accesibilidad, ventilación, drenado, así como las exigencias sanitarias previas a su disposición final”. (NCh2472, 2000)



Fuente: Centro de inteligencia operacional ESVAL

Figura 2.6: Reja estática

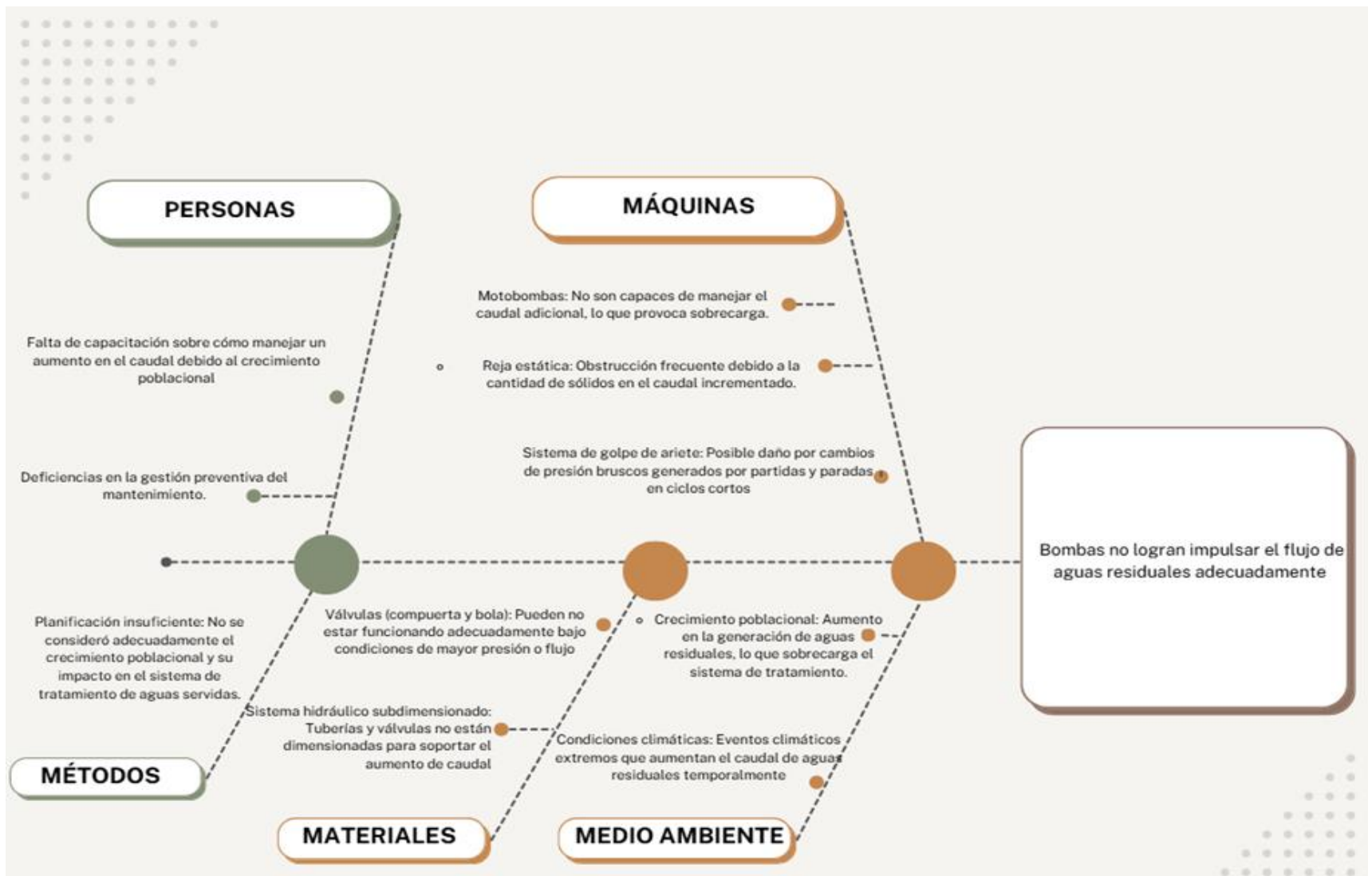


Fuente: DEMA ESVAL

Figura 2.7: Escombros extraídos de motobomba

2.1.3 Identificación de causas posibles del problema

A través del diagrama de Ishikawa, se identificaron una serie de causas relacionadas con el problema.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.8: Diagrama Ishikawa

2.1.4 Análisis profundo de las causas

Con el fin de realizar un análisis más profundo de la problemática se implementó la técnica de los 5 ¿Por qué?

1. ¿Por qué las motobombas no pueden impulsar el caudal?

- Porque el caudal ha aumentado más allá de su capacidad de operación.

2. ¿Por qué ha aumentado el caudal?

- Porque ha habido un crecimiento poblacional en la zona, lo que ha generado más aguas residuales.

3. ¿Por qué el sistema no está preparado para este aumento de caudal?

- Porque no se realizó una planificación adecuada de la capacidad del sistema de tratamiento frente al crecimiento poblacional.

4. ¿Por qué no se hizo una planificación adecuada?

- Porque no se realizaron estudios de proyección de crecimiento de la población o se ignoraron los efectos a largo plazo en la capacidad del sistema.

5. ¿Por qué no se tomaron medidas preventivas?

- Porque el sistema de monitoreo de caudal y las proyecciones de carga hidráulica no estaban alineadas con las necesidades futuras del sistema.

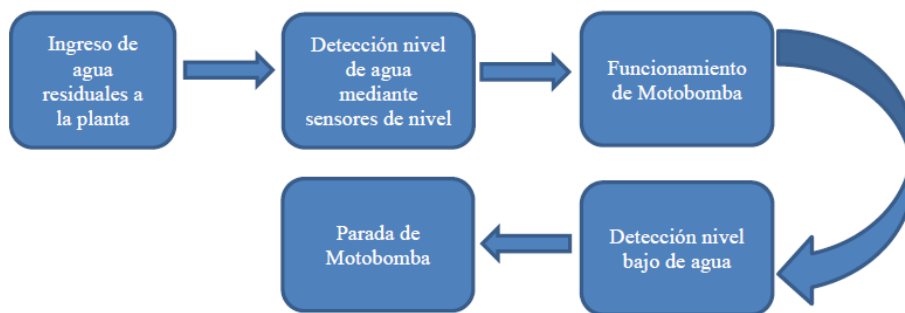
2.1.5 Identificación de la causa raíz

Como conclusión al profundo análisis realizado anteriormente se consideró que la causa raíz del problema es la falta de planificación adecuada para el crecimiento poblacional y su impacto sobre la capacidad del sistema de tratamiento de aguas servidas. Esta falta de previsión ha llevado a que los componentes clave de la planta (como las motobombas, la reja estática y las válvulas) no estén dimensionados ni preparados para soportar el aumento del caudal.

2.2.1 ANALISIS MEDIANTE FMECA

Este análisis permitirá la identificación y prevención de riesgos operacionales, legales y de salud pública. Para el presente proyecto, se enfoca específicamente: la identificación, prevención y riesgo de fallas mecánicas y eléctricas.

2.2.1.1 DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO DE PEAS LIMACHE



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.9: Diagrama de funcionamiento de planta elevadora

Para la realización de este análisis se debe indicar que se hace en función al VEP (Valor Esperado de Perdida), el cual representa la magnitud de la pérdida probable que se podría producir en caso de ocurrir algún hecho indeseado, establecido según la probabilidad de falla de algún equipo y la consecuencia que ésta traería, como se muestra continuación:

$$VPE = \text{PROBABILIDAD} \times \text{CONSECUENCIA}$$

Como se trabajará con el Valor Esperado de Pérdida, se establecerán dos tablas, la primera se basará con valores de Probabilidad, en cuanto la segunda se utilizarán valores de Consecuencia, las cuales serán la base para el estudio de criticidad de los equipos. A continuación, se muestran las tablas:

PROBABILIDAD			
ITEM	TIPO	CRITERIO	VALOR
I	FRECUENTE	SUCEDE GRAN PARTE DE LAS VECES	4
II	OCACIONAL	PUEDE SUCCEDER ALGUNAS VECES	3
III	BAJA	PUEDE SUCCEDER ALGUNA VEZ	2
IV	REMOTA	POCO PROBABLE QUE SUCEDA	1

CONCECUENCIA			
ITEM	TIPO	CRITERIO	VALOR
I	MUY GRAVE	INCAPACIDAD PERMANENTE	4
		DAÑO MEDIO AMBIENTE	
		DAÑOS INSTALACIONES	
		PERDIDA CONSIDERABLE EN PRODUCCIÓN	
II	GRAVE	MULTIPLES LESIONADOS	3
		INCAPACIDAD TEMPORAL	
		CONTAMINACIÓN SEVERA MEDIO AMBIENTE	
		DAÑOS MENORES EN INSTALACIONES	
III	MODERADO	PERDIDAS DE PRODUCCIÓN PARCIAL	2
		LESIONES MENORES	
		PROBABLES DAÑOS AL MEDIO AMBIENTE	
		PERDIDA CONTROLADA EN LA PRODUCCIÓN	
IV	LEVE	SIN LESIONES DE CONSIDERACIÓN	1
		CONTINGENCIA CONTROLABLE MEDIO AMBIENTALES	
		SIN PERDIDA SIGNIFICATIVAS EN PRODUCCIÓN	

Al quedar establecidos los parámetros de probabilidad y consecuencia, se podrá crear una matriz de criticidad, la cual, resulta en la multiplicación de las dos tablas anteriores.

Esta matriz es la base para evaluar los equipos que dentro de la planta resultan ser los más necesarios para realizar un monitoreo en tiempo real.

		PROBABILIDAD			
		FRECUENTE	OCACIONAL	BAJA	REMOTA
CONCECUENCIA	MUY GRAVE	16	12	8	4
	GRAVE	12	9	6	3
	MODERADO	8	6	4	2
	LEVE	4	3	2	1

Teniendo como resultados los valores de VEP:

Rango de Criticidad	VEP
Muy Crítico	12 a 16
Crítico	6 a 9
Moderadamente Crítico	3 a 4
Levemente Crítico	1 a 2

Severidad se define como la gravedad de los efectos ocurridos, si sucede el fallo en la máquina o en la planta que se esta analizando. El cálculo de la severidad se debe realizar en dos partes, la primera se asigna valores probabilísticos a cada criterio, y en la segunda parte es obtenido por análisis, utilizando las tablas internacionales de valores de los distintos criterios de severidad.

La calificación de la severidad se realiza mediante los siguientes criterios:

- FO: Fallas ocultas
- SF: Impacto seguridad física
- MA: Impacto medio ambiente
- IC: Impacto en imagen corporativa
- OR: Costos de reparaciones o mantenimientos
- OC: Efectos en clientes.

Para la estimación de severidad se debe realizar con la siguiente formula:

$$S = FO \times K_{FO} + SF \times K_{SF} + MA \times K_{MA} + IC \times K_{IC} + OR \times K_{OR} + OC \times K_{OC}$$

Donde los coeficientes de los factores son constantes (su suma es de 1 o del 100%), así:

K_{FO}	0,05	5%
K_{SF}	0,2	20%
K_{MA}	0,1	10%
K_{IC}	0,3	30%
K_{OR}	0,3	30%
K_{OC}	0,05	5%
TOTAL	1	100%

Los valores de los criterios de severidad se discuten entre los miembros y analistas, de acuerdo con el caso específico y en las circunstancias de trabajo, obteniendo los valores a partir de las siguientes opciones:

FO - FALLOS OCULTOS	
No existen fallas ocultas que puedan generar problemas múltiples posteriores	0
Existe una baja posibilidad de que la falla no sea detectable ocasionando problemas múltiples posteriores	1
En condiciones normales la falla será oculta generando problemas múltiples posteriores	2
Existe una alta posibilidad de que la falla si sea detectable ocasionando problemas múltiples posteriores	3
La falla siempre es oculta generando fallas graves en el sistema	4

SF - SEGURIDAD FÍSICA	
No afecta al personal ni al equipo	0
Afecta a una persona y es posible que genere incapacidad temporal	1
Afecta de dos a cinco personas y puede generar incapacidad temporal	2
Afecta a más de cinco personas y puede generar incapacidad temporal o permanente	3
Genera la incapacidad permanente o muerte de una o más personas	4

MA - MEDIO AMBIENTE	
No afecta al medio ambiente	0
Afecta al medio ambiente pero es controlable	1
Afecta la disponibilidad de recursos sociales y el ecosistema. Reversible en menos de 6 meses y con un valor inferior a 5.000 dólares	2
Afecta la disponibilidad de recursos sociales y el ecosistema. Reversible en menos de 3 años y con un valor inferior a 50.000 dólares	3
Afecta la disponibilidad de recursos sociales y el ecosistema. Puede ser reversible en más de 3 años y se debe considerar irreversible teniendo un valor superior a los 50.000 dólares	4

IC - IMAGEN CORPORATIVA	
No es relevante	0
Afecta la credibilidad con los clientes, pero se maneja con argumentos	1
Afecta la credibilidad con los clientes, pero se maneja con argumentos y con una inversión inferior a los 1.000 dólares	2
Afecta la credibilidad con los clientes, pero se maneja con argumentos y con una inversión que va entre los 1.000 y 10.000 dólares	3
Poca credibilidad con los clientes, se maneja con argumentos y con una inversión superior a los 10.000 dólares. Esto puede ser irreversible	4

OR - COSTO DE REPARACIÓN	
Entre 1 y 50 dólares	0
Entre 51 y 500 dólares	1
Entre 501 y 5.000 dólares	2
Entre 5.001 y 50.000 dólares	3
Mayor a 50.001 dólares	4

OC - EFECTO DE CLIENTES	
Entre 1 y 50 dólares	0
Entre 51 y 500 dólares	1
Entre 501 y 5.000 dólares	2
Entre 5.001 y 50.000 dólares	3
Mayor a 50.001 dólares	4

Para la probabilidad de ocurrencia se entregan los siguientes intervalos:

OCURRENCIA	
Frecuente: Falla en 1 - 4 meses	4
Ocasional: Falla en 1 - 3 años	3
Remoto: 3 - 5 años	2
Poco Probable: Cada 20 años	1

Mayor o menor facilidad de detectar una causa de fallo según recursos humanos y los técnicos disponibles

DETECCIÓN	
Nula - No se puede detectar una causa potencial / Mecanismo y modo de falla subsecuente	4
Baja - Las probabilidades para detecta causas potenciales, mecanismo y modos de falla subsecuentes son menores	3
Media - Las probabilidades para detecta causas potenciales, mecanismo y modos de falla subsecuentes son regulares	2
Seguro - Las probabilidades para detecta causas potenciales, mecanismo y modos de falla subsecuentes son altas	1

El número de prioridad de riesgo es el valor obtenido de la multiplicación de los datos de severidad, ocurrencia y detectabilidad.

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

Donde:

S: Severidad

O: Probabilidad de ocurrencia

D: Probabilidad de detección

A continuación, se presenta una tabla FMECA en la cual, con los datos obtenidos del historial de los equipos en los últimos años, se pudo detectar las fallas más comunes siendo valorizados por las tablas que se presentaron con anterioridad.

Esta tabla se encuentra con los valores de severidad ya asignados, y los valores de NPR correspondientes.

Estos fueron resueltos mediante planilla Excel por lo que no se mostrará el desarrollo de las ecuaciones.

DATOS DEL EQUIPO			ANÁLISIS DE MODOS, EFECTOS Y CRITICIDAD DE FALLA.											SÍNTOMAS Y DETALLE DE DETECCIÓN					
EQUIPO	CRITICIDAD DEL PROCESO	FUNCIONES PRIMARIAS Y SECUNDARIAS	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTOS DE FALLA	ANÁLISIS DE CRITICIDAD (NPR)							NÚMERO DE PRIORIDAD DE RIESGO (NPR)	ESTRATEGIA (PARA EVITAR MODO DE FALLA)	MÉTODO DE DETECCIÓN	FRECUENCIA DE APLICACIÓN DE ESTRATEGIA			
						FO	SF	MA	IC	OR	OC	SEVERIDAD					OCCURRENCIA	DETECTABILIDAD	
MOTOBOMBA DE ELEVACIÓN DE AGUAS RESIDUALES PEAS LIMACHE	12	MANTENER EL BOMBEO DESDE LA SENTINA HASTA LA PLANTA DE TRATAMIENTO EL MOLINO	1	DETENCIÓN GENERAL IMPREVISTA DE LA ELEVACIÓN DE AGUA SERVIDAS	1 FALLA COMPUERTA MOTORIZADA ENTRADA A LA PLANTA	PROBLEMA MECÁNICO DE APERTURA Y CIERRE DE LA VALVULA	0	0	2	3	2	1	1,75	3	2	10,5	MANT. PREVENTIVO	REVISIÓN DEL SISTEMA	SEMESTRAL
						AGRIPAMIENTO DE LA COMPUERTA, IMPIDIENDO LA ENTRADA DE AGUA	0	0	2	3	2	1	1,75	3	2		MANT. PREVENTIVO	REVISIÓN DEL SISTEMA	ANUAL
						DEFLEXIÓN DEL TORNILLO SIN FIN DE LA VALVULA DE COMPUERTA	0	0	2	3	2	1	1,75	3	2		MANT. PREVENTIVO	REVISIÓN DEL SISTEMA	ANUAL
					2 FALLA PLC	PROGRAMA DEFECTUOSO, PÉRDIDA DE CONTROL Y COMANDO DE LA PLANTA	0	0	2	3	2	1	1,75	3	2	10,5	MANT. PREVENTIVO	RUTINAS DE INSPECCIÓN	MENSUAL
						UPS INTERMITENTE, DEJANDO FUERA DE LOS SERVICIOS LOS SISTEMAS DE CONTROL	0	0	2	3	2	1	1,75	3	2		MANT. PREVENTIVO	RUTINAS DE INSPECCIÓN	MENSUAL
						MÓDULO DE CONTROL CON FUNCIONAMIENTO EN FORMA INTERMITENTE	0	0	2	3	2	2	1,8	2	2		7,2	MANT. PREVENTIVO	INSPECCIÓN A PLAZO FIJO
					3 FALLA TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA GENERADOR T.T.A	TEMPERATURA EN CONTACTORES Y CONDUCTORES, PROVOCANDO UN RECALENTAMIENTO	0	0	2	3	2	2	1,8	2	2	MANT. PREDICTIVO O SINTOMÁTICO		TERMOGRAFÍA	TRIMESTRAL
						CABLES DE FUERZA SUELTOS, PROVOCANDO ARCOS ELÉCTRICOS E INTERMITENCIA	0	0	2	3	2	2	1,8	2	2	MANT. PREDICTIVO O SINTOMÁTICO		TERMOGRAFÍA	TRIMESTRAL
						RÉLE DE SIMETRÍA CON PROBLEMAS DE FUNCIONAMIENTO	0	0	2	3	2	2	1,8	4	2	14,4	MANT. PREDICTIVO O SINTOMÁTICO	USO SENSOR MAS 711	DIARIA
				4 FALLA AMBAS BOMBAS DE ELEVACIÓN	RODAMIENTOS; RUIDOS Y VIBRACIONES EXCESIVAS PROVOCANDO LA SOLTURA DE EJE	0	0	2	3	2	2	1,8	4	2	MANT. PREDICTIVO O SINTOMÁTICO		USO SENSOR MAS 711	DIARIA	
					RODAMIENTOS; RUIDOS EN GUÍAS DE SUJECCIÓN, PROVOCANDO SOLTURA DE SOPORTE	0	0	2	3	2	2	1,8	4	2	MANT. PREVENTIVO		CALIBRACIÓN Y MEDICIÓN DEL SISTEMA	MENSUAL	
					BAJA AISLACIÓN DE MOTORES	0	0	2	3	2	2	1,8	4	2	MANT. PREDICTIVO O SINTOMÁTICO		USO SENSOR MAS 711	DIARIA	
					TEMPERATURA EXCESIVA, ALARMA INDICADA EN VDF	0	0	2	3	2	2	1,8	4	2	MANT. PREVENTIVO	CALIBRACIÓN Y MEDICIÓN DEL SISTEMA	ANUAL		
				5 FALLAS DE AMBAS VALVULAS DE RETENCIÓN EN PIPING DE IMPULSIÓN	FALLA A TIERRA, ALARMA INDICADA EN VDF	0	0	2	3	2	2	1,8	3	2	10,8	MANT. PREDICTIVO O SINTOMÁTICO	USO SENSOR MAS 711	TRIMESTRAL	
					VOLVUTA Y RODETE: RUIDO Y VIBRACIÓN EXCESIVA	0	0	2	3	2	2	1,8	3	2		MANT. POR FALLA O AVERÍA	REVISIÓN DEL SISTEMA	TRIMESTRAL	
					RECIRCULACIÓN DE AGUA EN SENTINA	0	0	2	3	2	2	1,8	3	2		13,2	MANT. POR FALLA O AVERÍA	REVISIÓN DEL SISTEMA	MENSUAL
				2	BAJO CAUDAL DE SALIDA	1	FALLA POR OBSTRUCCIÓN DE MOTOBOMBA	SOBRE ESFUERZO DEL EJE DEL EQUIPO AL MOMENTO DE GIRAR	3	0	2	2	2	2	1,65		4	2	MANT. POR FALLA O AVERÍA
TEMPERATURA ELEVADA DEL MOTOR	0	0	2					3	2	2	1,8	3	2	10,8	MANT. POR FALLA O AVERÍA	REVISIÓN DEL SISTEMA	TRIMESTRAL		

Fuente: Elaboración propia

Figura 2.9: Matriz de riesgos asociados de falla de bomba

2.2.2 ANALISIS ECONOMICO DE FALLAS

Con respecto al tema de las problemáticas económicas, se debe tener en cuenta que toda consecuencia de carácter medio ambiental producida por una mala operación tiene castigos, que en este caso son de carácter económico. Es por ello, que se consideraron cuáles son los gastos principales al momento de que falle un equipo en la planta.

Las valorizaciones para mostrar en las problemáticas económicas se tomaron de cotizaciones realizadas con Maestranza Misyr. (Ver anexo 1 y 2)

Cuando la falla de los equipos es de carácter electromecánico se focaliza con el personal contratista especializado que en este caso es la Empresa KSB, quienes tienen las siguientes valorizaciones según la cotización que se realizó.

Tabla N° 2

Cargo	Valor día
Supervisor	\$96.000
Mecánico	\$48.000

Las problemáticas se evaluaron desde el punto de vista económico y se mostraran a continuación:

2.2.1 Obstrucción de motobomba

Al momento de tener una alerta producida por el personal del centro de inteligencia operacional (CIO) se debe actuar de forma estratégica. En primer lugar, se debe tener un grupo de electromecánicos que revisan la planta, además de que se necesita personal contratista y con el tecele eléctrico que se encuentra en la planta, se realiza el levantamiento para su observación.

MAESTRANZA MISYR				
SERVICIO	CANTIDAD	VALOR HORA	HORAS	VALOR TOTAL
MECÁNICO	2	\$ 40.000	3	\$ 240.000
			TOTAL	\$ 240.000

Tabla N° 3

Por tanto, la revisión de una bomba por obstrucción tiene un valor de \$240.000 con una duración del trabajo de 3 horas.

2.2.2 Pérdida de fase de bomba

Para este trabajo se solicita personal de KSB, quienes deberán realizar el levantamiento del equipo con el tecele eléctrico y diagnostican si el equipo debe o no ingresar a taller. Si el equipo debe ingresar a taller se solicita a la maestranza Misyr el traslado del equipo hacia la empresa KSB para su evaluación y reparación correspondiente.

Paralelo a esto se gestiona el traslado desde la Planta de El Molino hacia la Planta EEAS Limache, que se encuentra ubicada en la ciudad de Quillota de la motobomba respaldo para realizar el montaje correspondiente.

MAESTRANZA MISYR				
SERVICIO	CANTIDAD	VALOR HORA	HORAS	VALOR TOTAL
PLUMA	1	\$ 225.000	5	\$ 1.125.000
TRASLADO	1	\$ 156.000	7	\$ 1.092.000
			TOTAL	\$ 2.217.000
KSB				
SERVICIO	CANTIDAD	VALOR HORA	HORAS	VALOR TOTAL
ELECTROMECAÁNICO	2	\$ 60.000	6	\$ 720.000
			TOTAL	\$ 720.000

TOTAL	\$ 2.937.000
-------	--------------

Tabla N° 4

El valor total aproximado del trabajo es de \$ 2.937.000.

2.2.3 Falla de reja estática

La reja fija es la encargada de mantener aquellos solidos que no pueden ser impulsados por las motobombas y que pudieran provocar una falla importante en el trabajo de los equipos. Es por ello, que si se presenta una problemática como la que se plantea, se debe realizar las siguientes actividades. Primero se debe solicitar a la empresa Misyr la inspección de la reja fija y reparación correspondiente, además de solicitar el servicio de camión pluma para el desmontaje, se debe solicitar el traslado del equipo respaldo hacia la planta para poder conectarla en el sistema de bypass.

Con el personal de la empresa EMTTEC se debe realizar la conexión eléctrica de la motobomba de respaldo en el bypass a la espera de que el personal de Misyr pueda conectar el equipo mediante sistemas de bridas a la línea.

Cuando la bomba ya se encuentre posicionada, se genera una parada de planta con el fin de realizar un levantamiento de los equipos y una limpieza de la sentina, con el personal de KSB, se realiza la inspección correspondiente de los equipos.

Para la limpieza correspondiente se necesitan a lo menos de 3 camiones limpia fosa los cuales, son los encargados de limpiar la sentina. Por otro lado, personal de Misyr deberá reparar la reja en terreno.

		KSB		
SERVICIO	CANTIDAD	VALOR HORA	HORAS	VALOR TOTAL
ELECTROMECAÁNICO	2	\$ 60.000	4	\$ 480.000
			TOTAL	\$ 480.000

		MAESTRANZA MISYR		
SERVICIO	CANTIDAD	VALOR HORA	HORAS	VALOR TOTAL
PLUMA	1	\$ 225.000	5	\$ 1.125.000
TRASLADO	1	\$ 156.000	4	\$ 624.000
			TOTAL	\$ 1.749.000

		DISAL		
SERVICIO	CANTIDAD	VALOR HORA	HORAS	VALOR TOTAL
CAMIÓN LIMPIA FOSA	3	\$ 700.000	2	\$ 4.200.000
			TOTAL	\$ 4.200.000

Tabla N° 5

Tabla N° 6

Tabla N° 7

		EMTTEC		
SERVICIO	CANTIDAD	VALOR HORA	HORAS	VALOR TOTAL
ELECTRICO	2	\$ 48.000	4	\$ 384.000
			TOTAL	\$ 384.000

Tabla N° 8

TOTAL	\$ 6.813.000
-------	--------------

En total una falla de reja estática tiene un coste aproximado de \$ 6.813.000

2.2.4 Falla de ambas bombas

Esta escena presentada es la más complicada que se puede tener, ya que se requiere de mucho movimiento de personal y equipos con el fin de disminuir la cantidad de rebase al estero.

Para ello, se debería gestionar de la siguiente manera:

Para mantener el nivel de agua bajo la línea de rebalse, se debe gestionar el uso de camiones limpia fosas hasta que se pueda habilitar el sistema de bypass. Los camiones limpia fosa hacen una capacidad máxima de 22 metros cúbicos, sabiendo que el promedio del caudal es de 586 m³/h, se necesitarían el trabajo de forma continua de 27 camiones.

Paralelo a esto, se gestiona el uso del camión pluma para el retiro de la motobomba de respaldo y llevarla a la planta para instalar en el sistema de bypass. Ya realizado la conexión, con el personal de KSB y

EMTTEC se debe realizar la revisión y reparación, si corresponde, de las motobombas y variadores de frecuencia.

Como modo explicativo se pensará que el uso de los camiones limpia fosas trabajaran 2 horas de forma continua.

		DISAL		
SERVICIO	CANTIDAD	VALOR HORA	HORAS	VALOR TOTAL
CAMIÓN LIMPIA FOSA	27	\$ 700.000	2	\$ 37.800.000
			TOTAL	\$ 37.800.000

Tabla N° 9

		MAESTRANZA MISYR		
SERVICIO	CANTIDAD	VALOR HORA	HORAS	VALOR TOTAL
PLUMA	1	\$ 225.000	6	\$ 1.350.000
TRASLADO	1	\$ 156.000	3	\$ 468.000
			TOTAL	\$ 1.818.000

Tabla N° 10

		KSB		
SERVICIO	CANTIDAD	VALOR HORA	HORAS	VALOR TOTAL
ELECTROMECAÁNICO	2	\$ 60.000	6	\$ 720.000

			TOTAL	\$ 720.000
--	--	--	-------	---------------

Tabla N° 11

		EMTTEC		
SERVICIO	CANTIDAD	VALOR HORA	HORAS	VALOR TOTAL
ELECTRICO	2	\$ 48.000	6	\$ 576.000
			TOTAL	\$ 576.000

Tabla N° 12

TOTAL	\$ 40.914.000
-------	---------------

Teniendo en cuenta la magnitud de traslados y gestiones que se deben hacer ante una emergencia como esta existe una alta posibilidad de vertimiento y como consecuencia una multa asociada por parte de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS).

Las multas tienen una variación dependiendo del daño medio ambiental que se produce, estos valores se encuentran en U.T.A. (Unidad Tributaria Anual) y van desde los 400 a 600 U.T.A. (\$244.939.200 a \$367.408.800). Por lo que si se piensa en un rebase de menor magnitud la multa podría ser la mínima aplicable que son aproximadamente \$ 250.000.000.

CAPITULO 3: PROPUESTA DE MEJORAMIENTO Y
CONCLUSIONES

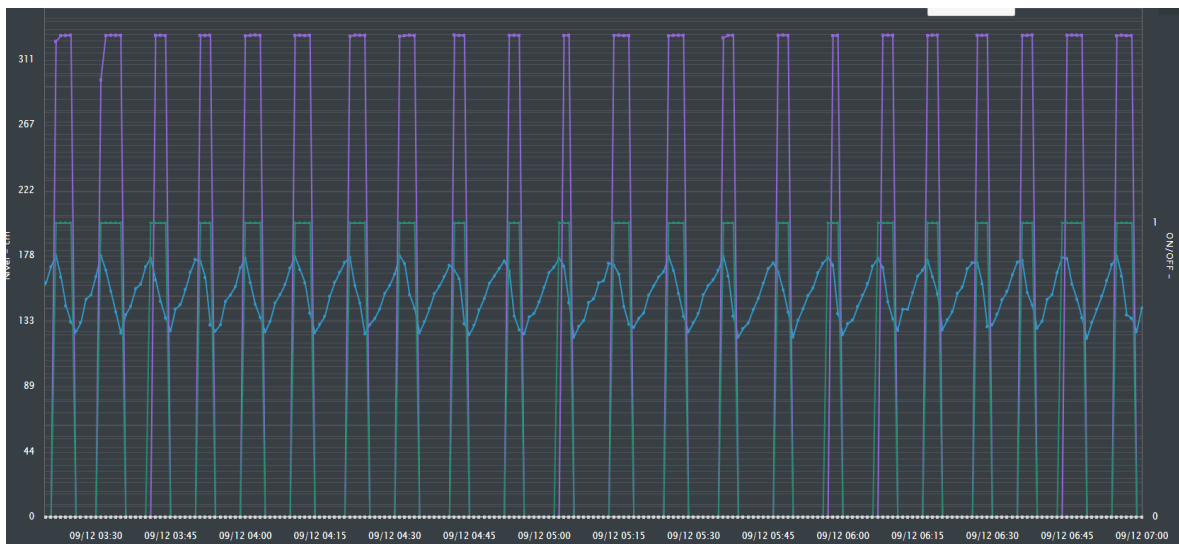
3. ANALISIS TECNICO DE PROPUESTAS DE MEJORA

Con el fin de presentar las propuestas de mejora, estas serán propuestas en base a las fallas de equipos presentadas en el capítulo anterior, ya que representan los inconvenientes que se pueden presentar en el funcionamiento de la planta elevadora de aguas servidas Limache.

3.1.1 Análisis de problemáticas de modulación de motobomba

Revisando los gráficos anteriores podemos concluir que debido al esfuerzo que tienen los variadores de frecuencia al trabajar con equipos que superan sus frecuencias (60 Hz), provocan que no pueda mantener una modulación constante y teniendo una gran cantidad de partidas y paradas. Por ende, los equipos son exigidos en el momento de salir de inercia

teniendo como consecuencias una alta probabilidad de que se presente un corte en el eje.



Fuente: Centro de inteligencia operacional ESVAL

Figura 3.1: Grafico de funcionamiento de bomba por 4 horas

Para dar una solución a los daños que se pueden producir y por el tiempo que estos equipos han trabajado es que se propone un cambio de las motobombas que se encuentran en la planta. Eso nos conduciría a que se montaran equipos que puedan trabajar de forma constante mediante modulación, ya que estas serían de una frecuencia de trabajo de 50 Hz.

El equipo evaluado para este proyecto es una motobomba marca Flygt y el modelo cp. 3240 de una potencia de 250 KW. Trabaja con un

caudal de 165 l/s e impulsa a una altura de 85 metros, por lo que mantendríamos el dimensionamiento de la impulsión de la planta.



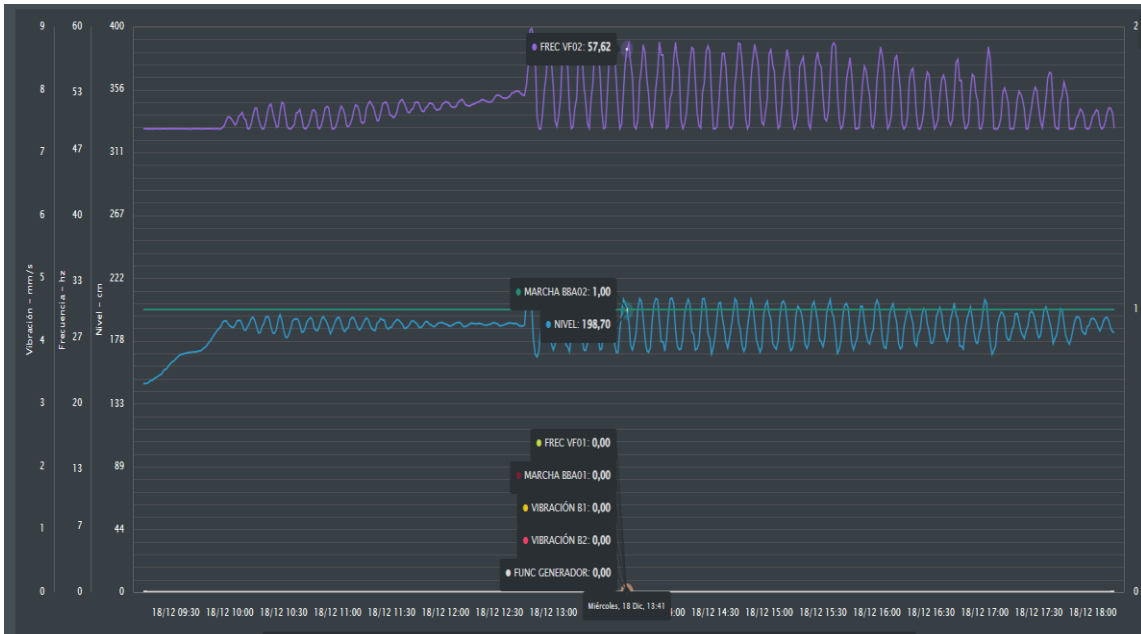
Fuente: Xylem.com

Figura 3.2: Motobomba sumergible Flygt c3240

Esta motobomba trabajaría a una frecuencia de 50 Hz por lo que se puede realizar un proceso de modulación. Al cambiar estos equipos se prevé una solución o reducción de varios problemas que se producen a causa de la mala operatividad de la planta, además, de poder evitar roturas en puntos críticos de la impulsión de la planta que se presentaban por las constantes paradas y encendidos de los equipos.

En el siguiente gráfico se aprecia el funcionamiento de una planta en la que sus motobombas modulan respecto a un nivel, variando su

frecuencia según corresponda, evitando las constantes partidas y paradas que a la larga provocan fallas o roturas.



Fuente: Centro de inteligencia operacional ESVAL

Figura 3.3: Modulación de motobomba

3.1.2 Mejoramiento Piping sentina.

Debido a los gases que se presentan en la planta, la estructura y loza se ven afectadas considerablemente por lo cual es importante que, al momento de reparar la sentina, se utilice algún producto que nos de mayor vida útil, con el fin de lograr eso se utilizará un componente

químico para mejorar las paredes de la sentina, este producto es de la marca Basf y se llama MasterSeal M 790.



Fuente: Montlag.com

Figura 3.4: Formato de venta de MasterSeal M790

Según la definición que se puede encontrar en su ficha técnica es una “membrana bicomponente de alta resistencia química y con capacidad de puenteo de fisuras basada en tecnología Xolutec™, para la impermeabilización y protección del hormigón en ambientes con elevada agresión química.” (Hoja de Datos Master Seal M790).

Al momento de mejorar la sentina se puede realizar la nivelación correspondiente para poder habilitar la tercera impulsión que se encuentra en la planta, con ello, los tiempos de respuestas serán

menores ya que se mantendrá un punto de conexión libre por si nos viéramos en la necesidad de tener un tercer equipo.

En el sistema de bypass se genera un mayor uso de recursos al momento de realizar un montaje, por lo que es necesario mejorar el sistema que se encuentra en estos momentos. La solución más viable es poder habilitar mediante codo patín y sistemas de guías una sentina de emergencia que se utilizará solo en momentos críticos. Al momento de realizar este trabajo mejoraremos los tiempos de reacción ante una falla.

3.1.3 Cambio de sistema de Golpe de Ariete.

Teniendo en cuenta que la planta trabaja con un sistema de hydroball, que no se tiene registro de alguna mantención que se haya realizado por lo menos en los últimos 4 años, es que la solución que se considera es el de cambiar este tipo de hydroball por uno de sistema hidroneumático con compresor. Pero para generar este cambio se

deberá trasladar el equipo a un lugar que sea accesible para realizar mantenencias programadas.



Fuente: www.vogt.cl

Figura 3.5: Elementos de sistema de golpe de ariete neumático con compresor

Al mejorar el sistema de golpe de ariete podemos disminuir fracturas o roturas producidas por el choque de presiones en algún punto crítico.

Además, evitamos contaminaciones producidas por cambios de pelotas que se deben realizar al tener un sistema de hydroball.

3.1.4 Cambio de Reja estática o Fija.

Debido a la cantidad de escombros que llegan a la panta es que se debe tomar este punto como crítico ya que no podemos mantener tantas fallas de forma estructurales, que nos pueden traer como consecuencia fallas al sistema de elevación.

Con el fin de mejorar la planta es que sería una gran oportunidad de instalar algún tipo de reja automática, con el fin de evitar obstrucciones.

La marca seleccionada de HUBER ya que en la empresa se han instalado en otros lados, teniendo buenas experiencias.



Fuente: www.huber-technology.cl

Figura 3.6: Esquema reja automática HUBER

Su funcionamiento es como se describe en su página web “Una cubeta maciza de acero inoxidable se encarga a modo de “pala excavadora” de la limpieza de la base del canal, así como del espacio de las rejillas de barras. Para ello, esta pala excavadora se opera cíclicamente mediante un sistema de motores”. (HUBER LATIN AMERICA LTDA.,2024)

3.1.5 Planes de acción de mejoramiento en el corto plazo

En la propuesta también se consideró acciones de carácter más inmediato, ya que no requieren grandes inversiones de dinero.

Para evitar las obstrucciones de las motobombas que suele ser la falla más común y se debe principalmente a que la reja estática no está en buenas condiciones, por lo que se sugiere la instalación de un canastillo instalado en las placas con el fin de disminuir el paso de sólidos. A su vez realizar limpiezas 3 veces por día, sobre todo en horarios de alto consumo y realizar limpiezas mensuales de sentina con el apoyo de camiones limpia fosa, trabajos que se sugiere realizar en horarios de menor consumo (nocturno).

3.2 Análisis económico de propuestas de mejora

El proyecto de reestructuración de la planta EEAS Limache tiene un valor aproximado de \$327.227.492 considerando tanto como lo compra de equipos y las obras civiles que se necesitan realizar. A esto se le agregará un factor de seguridad de un 30 % y un factor de ingeniería, la cual es

considerada como un factor en caso de que el proyecto presentara algún atraso que no se tuviera en cuenta, que también tendrá un valor de un 30%.

Por lo que el proyecto tendrá un valor total de:

Valor neto de proyecto	\$ 327.227.492
Factor de seguridad (30%)	\$ 98.168.248
Factor de ingeniería (30%)	\$ 98.168.248
Valor de proyecto	\$ 523.563.987

Tabla N°13

En este proyecto también se consideró la compra de repuestos y la valorización de los mantenimientos preventivos que se deben realizar.

	ITEM	VALOR ITEM	CANTIDAD	VALOR ACUMULADO
	PROYECTO			
	MOTOBOMBA	\$ 67.306.203	2	\$ 134.612.406
	MEJORAMIENTO SISTEMA DE BYPASS	\$ 24.613.776	1	\$ 24.613.776
	OBRAS CIVILES	\$ 8.745.000	2	\$ 17.490.000
	MEJORAMIENTO HIDROBALL	\$ 42.271.000	1	\$ 42.271.000
	COMPRA REJA AUTOMÁTICA	\$ 52.000.000	1	\$ 52.000.000
	COMPRA REPUESTO BOMBA	\$ 11.795.155	2	\$ 23.590.310
	MEJORAMIENTO SISTEMA DE REJAS	\$ 790.000	1	\$ 790.000
	GESTIÓN Y LOGISTICA			
MENSUAL	EPP	\$ 30.000	2	\$ 60.000
	CAMIÓN LIMPIA FOSA	\$ 700.000	4	\$ 2.800.000
SEMESTRAL	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	\$ 14.500.000	2	\$ 29.000.000
	VALOR NETO DE PROYECTO	\$ 327.227.492		

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°14

Considerando que la cantidad de clientes en el sector de Limache para el año 2024 es de aproximadamente 15.747, para los cuales el valor del tratamiento de aguas servidas tiene un costo de \$ 511 por m³, según la tabla N° 1 de proyección de demanda el consumo promedio por cliente es de 15 m³, por lo que por tratamiento la planta genera mensualmente \$ 120.779.490.

Dado que la PEAS genera ingresos a la compañía de casi un cuarto del costo total del proyecto se debería considerar la viabilidad de este, ya que más del beneficio económico que se espera normalmente en un proyecto, también se considera el beneficio en el impacto medioambiental para el ecosistema colindante a la planta y además la imagen que genera la compañía hacia las personas, por tanto, está en juego el prestigio al tener un evento de rebase que genere alto impacto en la comunidad.

CONCLUSIONES

El análisis de los antecedentes históricos de la planta elevadora de aguas servidas (PEAS) ha permitido identificar puntos críticos que requieren atención, sentando las bases para una propuesta de mejora bien fundamentada. La revisión detallada de la información técnica ha sido clave para reconocer áreas de oportunidad y enfocar los esfuerzos en optimizar procesos y mitigar riesgos asociados a rebases y fallos operativos.

La exploración de alternativas tecnológicas y operacionales, a través del estudio del estado del arte, ha proporcionado una visión amplia de las soluciones innovadoras disponibles. Esta fase ha facilitado la identificación de tecnologías emergentes y estrategias operacionales que pueden ser adaptadas a las necesidades específicas de la planta, contribuyendo a fortalecer su resiliencia y eficiencia.

Finalmente, la elaboración de la propuesta de mejora basada en las alternativas seleccionadas refleja un enfoque integral que considera tanto la viabilidad técnica como económica. Al cuantificar costos y beneficios, se asegura una toma de decisiones informada que prioriza la reducción del riesgo ambiental y la sostenibilidad a largo plazo. Esta propuesta representa un avance significativo hacia la modernización de la planta, garantizando su capacidad para responder de manera efectiva a los desafíos futuros.

BIBLIOGRAFÍA

Futuro, P. (2019). El país. Obtenido de El país: https://elpais.com/elpais/2019/03/21/planeta_futuro/1553160674_048784.html

We are water. (22 de marzo de 2017). We are water, foundation. Obtenido de We are water: https://www.wearewater.org/es/aguas-negras-el-rastro-de-nuestra-historia_281141

NCh 410. (1996). Norma Chilena 410. Chile.

Nch 2472. (2000). Norma Chilena 2472. Chile.

Hidromec. (2018). Hidromec Ingenieros S.A.C. Obtenido de <https://hidromecingenieros.com/que-es-una-bomba-de-agua/>

Ingeniería de fluidos. (2016). Ingeniería de fluidos, protección anti-ariete. Obtenido de <https://www.ingenieriadefluidos.com/tanques-anti-ariete>

Real Academia Española. (2020). RAE. Obtenido de <https://dle.rae.es/valvula>

ABB. (2020). ABB. Obtenido de <https://new.abb.com/drives/es/que-es-un-variador>

INN. (2016). Instituto nacional de normalización. Obtenido de <https://www.inn.cl/que-es-una-norma>

Nch 643. (1970). Norma Chilena 643, bombas centrífugas. Chile.

Web Esval. <https://www.esval.cl/personas/nosotros/historia>

