

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

**PROPUESTA DE MEJORA OPERACIONAL Y MANTENIMIENTO A
LA PLANTA DE EFLUENTES EN TERMINAR DE PRODUCTOS
IMPORTADOS COPEC, QUINTERO.**

Trabajo de Titulación para optar al Título
de Ingeniera en MANTENIMIENTO
INDUSTRIAL.

Alumna:

Mayra González González

Profesor Guía:

Mg. Ing. Alejandro Badilla Bello

2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE
MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: PROPUESTA DE MEJORA OPERACIONAL Y MANTENIMIENTO A LA PLANTA DE EFLUENTES EN TERMINAL DE PRODUCTOS IMPORTADOS COPEC, QUINTERO.

Nombre del candidato(a): Mayra González González

Carrera / Grado: Ingeniería en Mantenimiento Industrial con Licenciatura en Ingeniería

Campus: Viña del Mar Departamento: Departamento de Ingeniería Mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Alejandro Badilla Bello, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (marcar una opción):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 20/01/2026 Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 20/01/2026 Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

DEDICATORIAS:

“Ignoramos a nuestras más grandes mentes científicas cuando excluimos a las mujeres” ~ Elisa Leonida Zamfirescu

Primera mujer Ingeniera mecánica.

La presente tesis está dedicada a Dios quien ha sido mi guía y me ha dado la fuerza necesaria para no desistir de lograr este objetivo.

A mi familia nativa, mi madre Rosa González Gaete; por dar la vida por mí, por siempre guiarme en el camino del estudio, amarme y apoyarme incondicionalmente en todas las etapas de mi vida. Mis abuelos Virginia Gaete Campos y Juan Gonzalez Vázquez, por ser mis segundos padres, darme un hogar cálido, agua, luz, alimentos, todo lo necesario para estudiar hasta mi cuarto medio. Mi padrino Juan Gonzalez Gaete, por suplir el rol de padre y tío, por cuidarme y protegerme incesablemente, hoy que estas enfermo este título será el inicio para devolverte y agradecerte todo lo que me diste cuando pequeña.

Al amor de mi alma, Ignacio Fuentealba Cano por su apoyo incondicional, por ser mi mejor amigo, por potenciar mi rol de mujer de familia, estudiante y ahora profesional. Por ser el motor del ventilador que me ayuda a volar y confiar en que toda meta que me proponga la podre cumplir. Por ayudarme a construir el hogar que siempre soñé.

A mis hijos perrunos; Anto, Rex, Renesme, Bianca, Pingui, chica y mi gatita Kitty por esperarme mientras estudiaba y llegaba de la universidad; a veces feliz y otras veces derrotada, pero que con el apoyo incondicional de ellos todo se volvía un ambiente de amor y paz.

No puedo no recordar a los que me apoyaron y ahora no están en este plano terrenal; a mis bisabuelos Juan González González y Escilda Vásquez Valencia. Y en especial a Maximiliano Cano González, porque jamás necesitaste un lazo sanguíneo para ayudarme en lo que necesitaba y tratarme como tu nieta colocolina.

Muchas gracias a todo y cada uno de ustedes por aportar de diferentes formas en cada una de mis etapas en esta vida, a Cristina Urrutia por sus oraciones y siempre estar dispuesta acompañarnos a cualquier tramites de la universidad.

Sin Uds nada de esto sería posible.

RESUMEN

KEYWORDS: MODOS DE FALLA, FMECA, PLAN DE MANTENIMIENTO

Esta propuesta al sistema de mantenimiento y mejora a la planta de efluentes del terminal marítimo de productos importados Copec, ubicado en las costas de Quintero, se originó a partir de la necesidad de crear un plan de mantenimiento con requerimientos ya existentes, que englobara al personal interno de la planta, contratista, medidas medio ambientales y de operación.

Teniendo en cuenta que toda mejora debe estar introducida en el marco regulador de las normativas presentes a nivel nacional y comunal, si llegara a ocurrir una falla podría afectar directamente a la contaminación marítima y tener consecuencias perjudiciales tanto judicialmente como comunitaria.

El capítulo uno exhibe los antecedentes generales en que opera el terminal marítimo de Copec y su área de planta efluentes, la historia y los procesos operativos que engloba la empresa. Por otra parte, se presentan los componentes del sistema planta efluentes, la función de cada elemento, el proceso de operación y las normativas que regulan todos los procesos.

El capítulo dos consiste en un análisis de criticidad en la cual se podrá jerarquizar los equipos según su importancia dentro de la planta de efluentes, para luego identificar las fallas, modos de falla y numero de prioridad del riesgo a través de la metodología FMECA. Adicionalmente se definen la descripción de las funciones operacionales de cada activo a analizar.

El capítulo tres plantea la propuesta de mantenimiento, indicando los mantenimientos a utilizar, definición de personal externo, pautas de mantenimiento e inspección, actualización de Fracttal y por último la evaluación económica de la propuesta.

La evaluación económica desarrolla diversas comparaciones entre el mantenimiento que se venía trabajando versus los costos que conlleva el nuevo plan de mantenimiento con sus medidas correctivas. Finalmente, se comparan los costos del nuevo plan frente a los asociados al mantenimiento tradicional, caracterizado por fallas recurrentes y baja eficiencia.

ÍNDICE

DEDICATORIAS:	3
RESUMEN	5
ÍNDICE	6
ÍNDICE DE FIGURAS	10
ÍNDICE DE TABLAS	12
SIGLAS Y SIMBOLOGÍA	13
INTRODUCCIÓN	14
OBJETIVO GENERAL	15
OBJETIVO ESPECÍFICO	15
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES.	16
1.1. HISTORIA DE LA EMPRESA	17
1.1.1. Propósito	18
1.1.2. Visión de cambio y compromisos:	18
1.2. TERMINAL MARÍTIMO PRODUCTOS IMPORTADOS.	18
1.2.1. Descripción general del terminal marítimo.	18
1.3. OPERACIONES TERMINAL MARITIMO	19
1.3.1. Recepción de producto mediante buque tanque:	19
1.3.2. Deposito marítimo: Buque Tanque Puma	20
1.3.3. Despacho de combustible a través de oleoducto:	21
1.3.4. Operaciones indirectas – Planta lubricantes Copec:	22
1.4. PLANTA DE EFLUENTES TPI	22
1.4.1. Descripción planta efluentes:	23
1.4.2. Activos que componen la planta efluentes:	23
1.4.3. Proceso de la planta efluentes:	30
1.5. normativa reguladora	35
1.5.1. Resolución de calificación medioambiental (RCA):	35
1.5.2. Decreto supremo 105:	36
1.5.3. Plan de prevención y de descontaminación atmosférico:	36
1.5.4. Estadísticas plan de prevención y de descontaminación atmosférico:	38
1.6. Alcance investigativo:	40
1.7. Plan de mantenimiento planta efluentes:	40
CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE ACTIVOS CRITICOS	43
2. IDENTIFICACIÓN Y JERARQUIZACIÓN DE ACTIVOS PLANTA EFLUENTES	44
2.1. ANÁLISIS DE CRITICIDAD	44

2.1.1.	Definición del análisis:	44
2.1.2.	Cuantificación de equipos y/o componentes de la planta de efluentes:	44
2.1.3.	Clasificación de efectos:	45
2.1.4.	Jerarquización de activos por circuito:	48
2.1.5.	Conclusiones del análisis criticidad de activos	49
2.2.	METODOLOGÍA FMECA	49
2.2.1.	Definición de la metodología:	49
2.2.2.	Etapas de la metodología FMECA:	50
2.3.	Aplicación sipoc análisis funcional	50
2.3.1.	Análisis SIPOC bomba centrífuga:	50
2.3.2.	Análisis SIPOC batería de filtros de carbón y arcilla:	51
2.3.3.	Análisis SIPOC analizador OCD CDW:	51
2.3.4.	Análisis SIPOC analizador TD4100:	52
2.4.	Aplicación ANÁLISIS DE FALLA (FMECA)	52
2.4.1.	Modos de falla y efectos: Bomba Centrífuga:	53
	53	
2.4.2.	Modos de falla y efectos: Batería de filtros de carbón y arcilla:	54
2.4.3.	Modos de falla y efectos: Analizador OCD CDW:	54
2.4.4.	Modos de falla y efectos: Analizador Truner TD4100:	55
2.5.	JERARQUIZACIÓN PRIORIDAD DEL RIESGO:	55
2.5.1.	Severidad:	55
2.5.2.	Ocurrencia:	57
2.5.3.	Detección:	57
2.6.	ANÁLISIS: EFECTOS, CONCUENCIAS DE FALLAS Y NPR:	58
2.6.1	Consecuencias de fallas bomba centrifuga:	59
2.6.2	Consecuencias de fallas batería de filtros:	60
2.6.3	Consecuencias de fallas analizadores OCD CDW y TD4100:	61
2.7.	ANÁLISIS FMECA:	61
2.7.1	Análisis elemento crítico: Bomba centrifuga	61
2.7.2	Análisis elemento crítico: Baterías de filtros	62
2.7.3	Análisis elemento crítico: Analizadores	62
CAPÍTULO 3: PLAN DE MANTENIMIENTO, MEJORAS Y FACTIBILIDAD ECONOMICA.		63
3.	ANÁLISIS ANALIZADORES PLANTA EFLUENTES	64
3.1	METODOLOGIAS PARA CREAR UN Plan de mantenimiento:	65
3.1.1	Definición Mantenimiento:	65
3.1.2	Definición Disponibilidad operacional:	65

3.1.3	Tipos de mantenimiento:	65
3.2	METODOLOGIA PARA CREAR UN PLAN DE MANTENIMIENTO:	67
3.2.1	Establecer objetivos:	67
3.2.2	Definir indicadores de desempeño:	67
3.2.3	Inventario de los activos:	68
3.2.4	Establecer un presupuesto:	69
3.2.5	Seleccionar herramientas para la planificación del mantenimiento:	71
3.2.6	Fomentar una cultura digital:	71
3.2.7	Revisar y optimizar:	71
3.3	PLAN DE MANTENIMIENTO	72
3.3.1	Plan de mantenimiento bomba centrífuga:	72
3.3.2	Plan de mantenimiento circuito DAF:	74
3.3.3	Plan de mantenimiento circuito batería de filtros:	74
3.3.4	Plan de mantenimiento circuito coalescedores:	75
3.3.5	Plan de mantenimiento circuito analizador	76
3.4	Digitalización en fracttal	77
3.4.1	Glosario de Fracttal:	77
3.4.2	Creación planta de efluentes:	79
3.4.3	Planes de tarea:	79
3.4.4	Creación de personal planta:	80
3.4.5	Creación de personal externo de mantenimiento:	81
3.4.6	Capacitación al personal:	82
3.4.7	Aplicación de estadística en Fracttal:	84
3.5	MEJORAS A LA PLANTA EFLUENTES	85
3.6	Cambio y eliminacion del analizador OCD CDw	85
3.6.1	Sustitución del analizador Rivertrace OCD CDW:	85
3.6.2	Sonda toma de muestra:	87
3.7	BATERÍA DE FILTROS EXTRA	88
3.8	eSTANDARIZACIÓN DE PROCESOS	89
3.8.1	Procedimiento mantenimiento integral planta efluentes:	90
3.8.2	Acta de entrega planta efluentes:	95
3.9	EVALUACIÓN ECONÓMICA	96
3.10	Costos plan de mantenimiento integral	97
3.10.1	Presupuesto mantenciones empresa INERCO	97
3.10.2	Presupuestos repuestos en planta	98
3.11	COMPARATIVA PRESUPUESTOS Y COSTOS	98
3.11.1	Costos de mantenimiento actual v/s presupuesto mantenimiento integral:	98

3.11.2 Presupuesto mantenimiento integral v/s mantenimiento actual	99
CONCLUSIONES:	100
BIBLIOGRAFÍA	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Exponedora antigua Copec..... 17

Figura 2: Planta TPI, Quintero..... 19

Figura 3: Buque tanque en conexión al terminal 20

Figura 4: Buque tanque puma..... 21

Figura 5: Estación de bombeo, Sonacol 22

Figura 6: Cámara 300..... 23

Figura 7: Cámara 301..... 24

Figura 8: Cámara 301..... 24

Figura 9: Circuito coagulante y floculante..... 25

Figura 10: Circuito coagulante y floculante..... 26

Figura 11: Circuito Daf..... 27

Figura 12: Filtros de carbón activo y arcilla 28

Figura 13: Analizador OCD CW 29

Figura 14: Analizador TD-4100..... 29

Figura 15: Ficha técnica analizadores..... 30

Figura 16: Etapa 1 proceso planta efluentes 30

Figura 17: Etapa 2 proceso planta efluentes 31

Figura 18: Etapa 3 proceso planta efluentes 31

Figura 19: Etapa 4 proceso planta efluentes 32

Figura 20: Etapa 5 proceso planta efluentes 32

Figura 21: Etapa 6 planta efluentes..... 33

Figura 22: Etapa 7 proceso planta efluentes 33

Figura 23: Etapa 8 plantas efluentes 34

Figura 24: Etapa 9 plantas efluentes 34

Figura 25: Pronostico meteorológico y condición del factos de ventilación 37

Figura 26: Estadística condición de ventilación año 2023..... 38

Figura 27: Estadísticas de ventilación año 2024..... 39

Figura 28: Pagina 1 41

Figura 29: Pagina 6 42

Figura 30: Elementos a tener en cuenta para establecer un presupuesto. 70

Figura 31: Localización en Fracttal planta efluentes. 79

Figura 32: Orden de trabajo prueba semanal, planta efluentes. 80

Figura 33: Lista de recurso humano en Fracttal..... 81

Figura 34: Lista de externo en Fracttal 81

Figura 35: Diapositiva para la creación ordenes de trabajo 83

Figura 36: Índice de estadísticas, Fracttal.....	84
Figura 37: Analizador Rivertrace OCD CDW	86
Figura 38: Analizador TD-41000.....	86
Figura 39: Toma de muestra analizador OCD CW	87
Figura 40: Toma de muestra recomendada	88
Figura 41: Procedimiento mantenimiento integral, página 1	90
Figura 42: Procedimiento mantenimiento integral, página 2.....	91
Figura 43: Procedimiento mantenimiento integral, página 3.....	92
Figura 44: Procedimiento mantenimiento integral, página 4.....	93
Figura 45: Procedimiento mantenimiento integral, página 5.....	94
Figura 46: Acta de entrega, mantenimiento planta efluentes.....	95
Figura 47: Acta de entrega, mantenimiento planta efluentes.....	96
Figura 48: Presupuesto mantenimiento integral, INERCO.....	97
Figura 49: Presupuesto insumos para 2 años, INERCO	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Categoría de efectos.....47

Tabla 2: Criticidad de activos 48

Tabla 3: Matriz de criticidad.....48

Tabla 4: Análisis Sipoc bomba centrífuga.....50

Tabla 5: Análisis Sipoc batería de filtros.....51

Tabla 6: Análisis Sipoc analizador OCD CDW.....51

Tabla 7: Análisis Sipoc analizador TD4100 52

Tabla 8: Modos de falla bomba centrífuga 53

Tabla 9: Modos de falla batería de filtros 54

Tabla 10: Modos de falla analizador OCD CDW 54

Tabla 11: Modos de falla analizador TD4100 55

Tabla 12: Modos de falla analizador OCD CDW 56

Tabla 13: Ocurrencia de la falla.....57

Tabla 14: Detección de la falla 58

Tabla 15: Consecuencias de falla bomba centrífuga.....60

Tabla 16: Consecuencia de falla batería de filtros 60

Tabla 17: Consecuencias de fallas analizadores OCD CDW y TD4100 61

Tabla 18: Plan de mantenimiento bomba centrífuga 72

Tabla 19: Registro de inspección bomba centrífuga.....73

Tabla 20: Plan de mantenimiento circuito DAF 74

Tabla 21: Plan de mantenimiento circuito batería de filtros 74

Tabla 22: Plan de mantenimiento circuito coalescedores 75

Tabla 23: Plan de mantenimiento circuito analizador.....76

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

API: Medida densidad del petróleo.

Coppec: Compañía de petróleos de Chile.

Covs: Compuestos organicos volatiles.

DAF: Dissolved air flotation, Flotacion por aire disuelta.

Enap: Empresa nacional del petroleo.

FMECA: Análisis de modos de falla, efectos y criticidad.

HC: Hidrocarburos.

Hr: Hora.

KPI: Indicador clave de rendimiento.

L: Litro.

m: Metro

m²: Metro cuadrado

m³: Metro cúbico

mm: Milímetro

NPR: Número de prioridad de riesgo.

OT: Orden de trabajo.

PPDA: Planes de prevención y/o descontaminación atmosférica.

PPM: Particulas por millon

Psi: Libra de fuerza por pulgada cuadrada

RCA: Análisis de causa raiz

RCM: Mantenimiento centrado en la confiabilidad.

SIPOC: Proveedores, entradas, procesos, salidad y clientes.

Slop: Agua sucia

SMA: Superintendencia del medio ambiente.

Sonacol: Sociedad nacional de oleoductos.

TPI: Terminal de productos importados

UTA: Unidad tributaria anual.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el mantenimiento industrial ha dejado de ser considerado un gasto operativo para transformarse en un eje estratégico dentro de las empresas. Su correcta planificación y ejecución permite aumentar la disponibilidad de los activos, optimizar repuestos, prevenir fallas y garantizar el cumplimiento normativo. Especialmente en industrias donde la operación es regulada por exigencias medioambientales. En este contexto, metodologías como el análisis de criticidad, análisis de modos de fallos, efectos y criticidad y el uso de software especializado como Fractal se convierten en herramientas clave para lograr una gestión de mantenimiento eficiente y sostenible.

La presente investigación surge de la necesidad de optimizar la operación de la planta de efluentes del Terminal de Productos Importador (TPI) de Copec, ubicado en la bahía de Quintero. Quinta región.

En el contexto actual al que está sometido la planta TPI, se deben cumplir estrictamente las normativas vigentes. Esto implicando que cada proceso que se realicen se vuelvan una función crítica, como lo es el tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos. El marco regulatorio el cual esta sujeta es el plan de prevención y descontaminación atmosférica (PPDA) y normativas impuestas por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA). Las condiciones de ventilación atmosférica, la fiscalización ambiental y los riesgos operacionales exigen una planificación rigurosa, tanto técnica como administrativa. No obstante, el plan de mantenimiento vigente carece de actualizaciones desde 2019 y no contempla una evaluación estructurada de activos ni tareas estandarizadas, lo que ha generado deficiencias operativas y riesgos de incumplimiento.

Por ello, este trabajo propone una mejora integral al plan de mantenimiento de la planta efluentes TPI, mediante la aplicación de la metodología FMECA y su implementación a la plataforma Fractal. Esta propuesta permitirá jerarquizar activos según su criticidad, identificar fallas recurrentes y establecer acciones preventivas y correctivas más efectivas. Igualmente, busca contribuir a la trazabilidad y al cumplimiento de las exigencias ambientales, asegurando así una operación segura, eficiente y alineada con los estándares normativos y corporativos actuales.

OBJETIVO GENERAL

Elaborar una propuesta integral de mejora operativa y de mantenimiento para la planta efluentes del Terminal de Productos Importados de Copec, mediante el análisis de criticidad y la aplicación de la metodología FMECA, con el fin de optimizar el tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos y asegurar el cumplimiento normativo y ambiental vigente.

OBJETIVO ESPECÍFICO

- Diagnosticar el estado actual de la operación y mantenimiento de la planta de efluentes, recopilando antecedentes técnicos, operacionales y normativos para definir el contexto y las necesidades de mejora.
- Aplicar la metodología FMECA para identificar activos críticos, modos de falla y niveles de riesgos, estableciendo prioridades técnicas para la planificación del mantenimiento.
- Desarrollar la propuesta de mejora basado en los resultados de análisis, incorporando su digitalización en la plataforma Fracttal y evaluando su viabilidad técnica y económica.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES.

1. ANTECEDENTES GENERALES.

Copec en el presente año 2025 cumple 90 años de historia y con diferentes etapas del negocio a nivel corporativo, a continuación, se detallan los hitos más importantes.

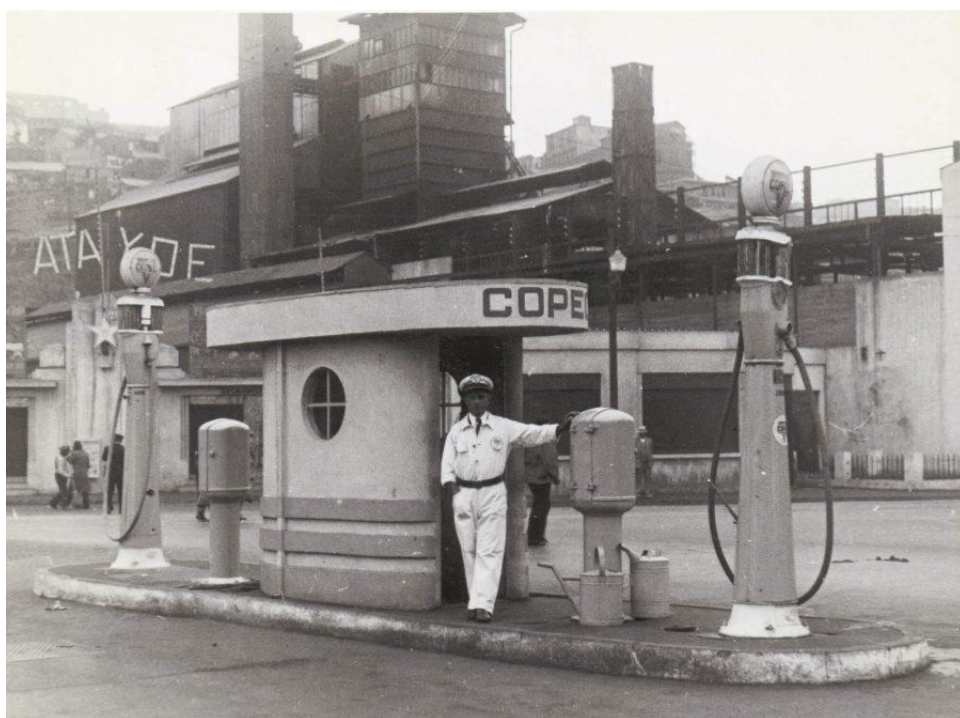
1.1. HISTORIA DE LA EMPRESA

En 1934 un grupo de empresarios chilenos funda “Compañía de petróleos de Chile S.A” con el objetivo de distribuir y comercializar combustible a lo largo del país, años más tarde incorpora nuevos giros de negocio y maquinaria;

- Se adquiere el primer buque tanque para la comercialización y transporte de combustible.
- Se constituye Abastible para la distribución de gas licuado.
- En conjunto de Enap y Esso crean Sonacol para transportar combustible a través de una red de oleoductos.
- Se establece una alianza con Mobil para la distribución de sus lubricantes en Chile.
- Se construyen 15 plantas de almacenamiento de productos combustibles y lubricantes.
- Se crea tiendas de conveniencias en la mayoría de sus estaciones de servicio.

Hacia el año 2021 Copec dado a la incorporación de nuevos giros y filiales cambia su razón social a COPEC S.A descentralizando su giro comercial.

En la Figura 1 se muestra una de las primeras estaciones de servicio ubicada en el centro de Santiago.



Fuente: <https://www.empresascopec.cl/>

Figura 1: Exponedora antigua Copec

1.1.1. Propósito

Ser una empresa que potencie el desarrollo y el movimiento de las personas, las empresas y el país.

1.1.2. Visión de cambio y compromisos:

Ser un referente en las energías de hoy y mañana, en conveniencia y movilidad, gracias a la pasión por el servicio, la innovación y la sostenibilidad.

Compromisos:

- Motivación por las personas y el servicio.
- Motivación por la innovación y visión de futuro.
- Motivación por la excelencia y calidad.
- Motivación por la ética y responsabilidad.

1.2. **TERMINAL MARÍTIMO PRODUCTOS IMPORTADOS.**

Un terminal marítimo de productos importados se define como una instalación portuaria donde buques o barcos son atracados o amarrados para cargar o descargar cargas que incluyen mercancías importadas a granel o a volumen. Las cargas más comunes para el terminal que se centra esta investigación son; petróleo crudo, refinado, productos químicos y gases licuados. (Shipping, 2020 Sexta edición)

1.2.1. Descripción general del terminal marítimo.

Este proyecto se centra en una de las 15 plantas que tiene Copec, se ubica en el terminal marítimo El Bato en la Bahía de Quintero, V región de Valparaíso, Chile.

Su diseño fue destinado para la recepción de productos líquidos a granel, específicamente para lubricantes y productos derivados del petróleo a través de la conexión del buque tanque por líneas submarinas.

Entro en operación el año 2006 por una superficie de 5,4 hectáreas, inicialmente contaba con 4 estanques de 20.000 m³; actualidad posee 9 estanques en servicios habilitados para la recepción de Petróleo Diésel, Gasolina 93, Gasolina 97 y Kerosene de Aviación. (Figura 2)



Fuente: Imagen extraída del anuario de la compañía año 2023

Figura 2: Planta TPI, Quintero

1.3. **OPERACIONES TERMINAL MARITIMO**

Las operaciones en el terminal marítimo: “El bato” deben ser definidas e informadas en todo momento hacia la autoridad marítima y en concordancia con las empresas aledañas para la correcta organización.

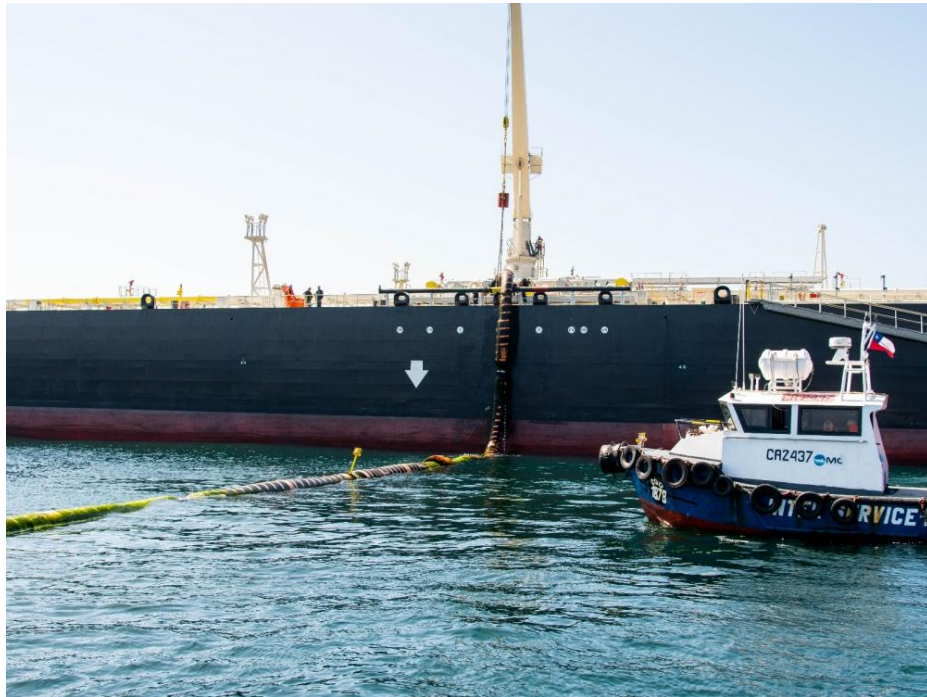
1.3.1. **Recepción de producto mediante buque tanque:**

Mediante un buque tanque que se conecta a la planta a través de flexibles submarinos se realiza la recepción de producto ya sea diésel, gasolina o kerosene de aviación. El cual es almacenado en los diferentes estanques de la planta.

Las etapas de la recepción son las siguientes:

- Antes de la llegada del buque se realiza una prueba de presión de los flexibles submarinos que conectan al manifold de la planta, la prueba consiste en rellenar la línea con agua proporcionada por el sistema de red contra incendio.
- Conexión de buque tanque al terminal marítimo.
- Mediciones de estanques receptor por parte de la planta.
- Análisis de muestras del combustible del buque tanque en laboratorio de planta.
- Inicio de recepción mediante bombas de buque tanque al estanque receptor. Es importante mencionar que al tanque receptor ingresa el agua utilizada en la línea para la prueba de presión antes mencionada. (Figura 3)
- Termina de llenado de un tanque es necesario dar el reposo correspondiente y drenar agua inyectada si la condición medioambiental lo permite para

finalmente medir el tanque, sacar muestras de todo nivel y analizar el producto que se almaceno.



Fuente: Imagen extraída del anuario de la compañía año 2023

Figura 3: Buque tanque en conexión al terminal

1.3.2. Deposito marítimo: Buque Tanque Puma

Copec a nivel nacional cuenta con un buque tanque llamado Puma, el cual recorre a lo largo del país las diversas plantas prestando apoyo en diversas operaciones. Algunas de las operaciones son las siguientes:

- Traslado de combustible a necesidad o demandas de emergencias a todas las plantas Copec.
- Realización de alije entre Buque Tanque Puma y otro buque para el almacenamiento de combustible que quedo pendiente por recepcionar en planta.
- Carguío de combustible desde planta a buque tanque Puma.
- Almacenamiento de agua producto del carguío de combustible por parte de las plantas despachadoras.

En la figura 4 se ilustra el buque tanque Puma perteneciente a la licitación de Copec.



Fuente: <https://www.balticshipping.com/>

Figura 4: Buque tanque puma

1.3.3. Despacho de combustible a través de oleoducto:

A través de oleoducto de 10 pulgadas se realiza la transferencia de producto desde Tpi Quintero hacia; Enap Quintero, Oxiquim, planta Copec Concón y planta Copec Maipú.

Para el despacho de combustible a planta Concón y Maipú se realiza mediante una estación de bombeo que se encuentra en planta Tpi comandada de forma remota pero que administrada por la empresa Sonacol.

Sonacol permite asegurar un bombeo constante entre las plantas involucradas, el flujo promedio es de 620 m³/H. Asegurando un bombeo óptimo para el despacho realizan mantenimiento a oleoductos, válvulas y bombas. (Figura 5)



Fuente: <https://www.sonacol.cl/proyecto>

Figura 5: Estación de bombeo, Sonacol

1.3.4. Operaciones indirectas – Planta lubricantes Copec:

Planta TPI comparte terminal marítimo y espacio en tierra con la planta de lubricantes, fue construida al mismo tiempo de TPI esto implica que compartan algunos procedimientos, instalaciones y planta de efluentes.

Planta de lubricantes fabrica productos acordes a las necesidades de diversas industrias del país, dando origen a la marca Lubricantes Mobil. La planta cuenta con 15 estanques de 1.180 m³ a 20.480 m³, los cuales almacenan lubricantes básicos, productos terminados y aditivos. Sumado a esto, cuenta un área de producción y laboratorio para inspeccionar los productos terminados en base a la calidad de la marca.

1.4. PLANTA DE EFLUENTES TPI

En el artículo 170° del decreto 160, establece que: “Las instalaciones de almacenamiento y distribución de CL, alcancen los sistema para evitar, eventuales derrames de CL, alcance los sistema de alcantarillado, de aguas lluvias, cursos de aguas o propiedades adyacentes a la instalación, compuestos por un sistema de drenaje estanco, que cuente con cámaras separadoras, decantadores y otros sistemas de separación de los efluentes, que contengan el CL. (nacional, 2008)

1.4.1. Descripción planta efluentes:

La planta efluentes es un sistema de separación de aguas contaminadas con Hidrocarburos (HC), productos refinados, sustancias químicas de lubricantes, entre otros líquidos.

La conforman una serie de elementos y equipos ordenados de tal forma que, mediante separadores; coalescedores, floculadores y otros, aseguran el cumplimiento de un determinado valor, expresado en partes por millón (PPM) de concentración de hidrocarburos en agua.

1.4.2. Activos que componen la planta efluentes:

- Cámara 300: Barrera de contención para aguas residuales de la planta, su capacidad es de 80 m³ y es la primera cámara en la ingresan todas las aguas, por norma debe estar bajo techo y en mayor hermeticidad posible. (Figura 6)



Fuente: Registro fotográfico propio.

Figura 6: Cámara 300

- Cámara 302: Segunda barrera de aguas residuales de la planta, ingresan aguas provenientes de la etapa coagulantes y DAF. Su capacidad es de 60 m³ y se encuentra al lado de la cámara 300 en hermeticidad.

- Cámara 301: Cámara en la cual se recibe las aguas que pasan por todo el proceso de filtrado y tratamiento (Figura 7). Su Capacidad es de 61 m³ y está a la intemperie debido a que las aguas que almacena cumple con los parámetros permitidos para ser liberada. (Figura 8)



Fuente: Registro fotográfico propio.

Figura 7: Cámara 301



Fuente: Registro fotográfico propio.

Figura 8: Cámara 301

- Circuito coagulante y floculante: la etapa de coagulación consta de dos estanques, uno de ellos contiene una sustancia coagulante que es una sustancia que se utiliza para neutralizar las cargas eléctricas de las partículas coloidales del agua (Figura 9). El otro estanque contiene una sustancia floculante que actúa después de la coagulación y tiene como objetivo aumentar el tamaño y densidad de los flocúlos formados, el floculante actúa como una unión entre los micro flocúlos, aumentando su tamaño facilitando su sedimentación y separación del agua. (Figura 10)



Fuente: Registro fotográfico propio.

Figura 9: Circuito coagulante y floculante



Fuente: Registro fotográfico propio.

Figura 10: Circuito coagulante y floculante

- Circuito Daf: Equipo que ayudan a la separación de partículas sólidas, grasas y aceites, generando un lodo con el concentrado de los sólidos del agua. El agua residual se bombea desde el sistema de coagulación-floculación y se le aplica una cortina de aire provocando la flotación de las partículas. Una bomba de recirculación redirige parte del agua clarificada a la salida de la unidad DAF, dentro de la unidad Dad ocurre la despresurización provocando micro burbujas de aire permitiendo la eliminación de sólidos y floculos. La mezcla de agua y burbujas es homogéneamente distribuida a lo largo de la unidad Daf, las partículas de solido flotan y son eliminadas mediante un sistema de skimmers
El sistema de skimer es una barrera de caucho que recorre longitudinalmente por la superficie de las aguas del Daf, en donde las partículas sólidas son atraídas por su material hasta una bomba que re direcciona el sedimento a un slop de borra y material solido producto de los hidrocarburos y grasa. (Figura 11)



Fuente: Registro fotográfico propio.

Figura 11: Circuito Daf

- Filtros de carbono y arcilla: Se compone de dos estanques uno de ellos contiene carbón activo que consiste en la captación de sustancias solubles en la superficie del sólido, el carbón activo absorbe materiales como polvo, metales pesados, entre otras partículas. El segundo estanque es de arcilla y elimina bacterias que pudieran haberse generado en el proceso de estancamiento o espera a la operación de la planta de efluentes y elimina olores. (Figura 12)



Fuente: Registro fotográfico propio.

Figura 12: Filtros de carbón activo y arcilla

- Analizador OCD CW: Analizador mide concentraciones de hidrocarburos y aceites en concentraciones entre 0 – 99 ppm. Un conjunto de sensores ópticos mide una combinación de luz dispersada y absorbida por gotitas de aceites o hidrocarburos en la corriente de muestra y las convierte de señales a valores de concentración utilizando un microprocesador. El microprocesador impulsa salidas de voltaje, salidas de corriente, dos relés de alarma de aceites y un relé de fallo. (Figura 13)



Fuente: Registro fotográfico propio.

Figura 13: Analizador OCD CW

- Analizador TD4100: Detecta hidrocarburos aromáticos en agua mediante fluorometría en combinación con una celda de flujo patentada (Figura 14). Los hidrocarburos aromáticos son fluorescentes, es decir, al ser expuestos a luz en una longitud de onda determinada la absorben e instantáneamente emiten luz con longitud de onda mayor. (Figura 15)



Fuente: Registro fotográfico propio.

Figura 14: Analizador TD-4100

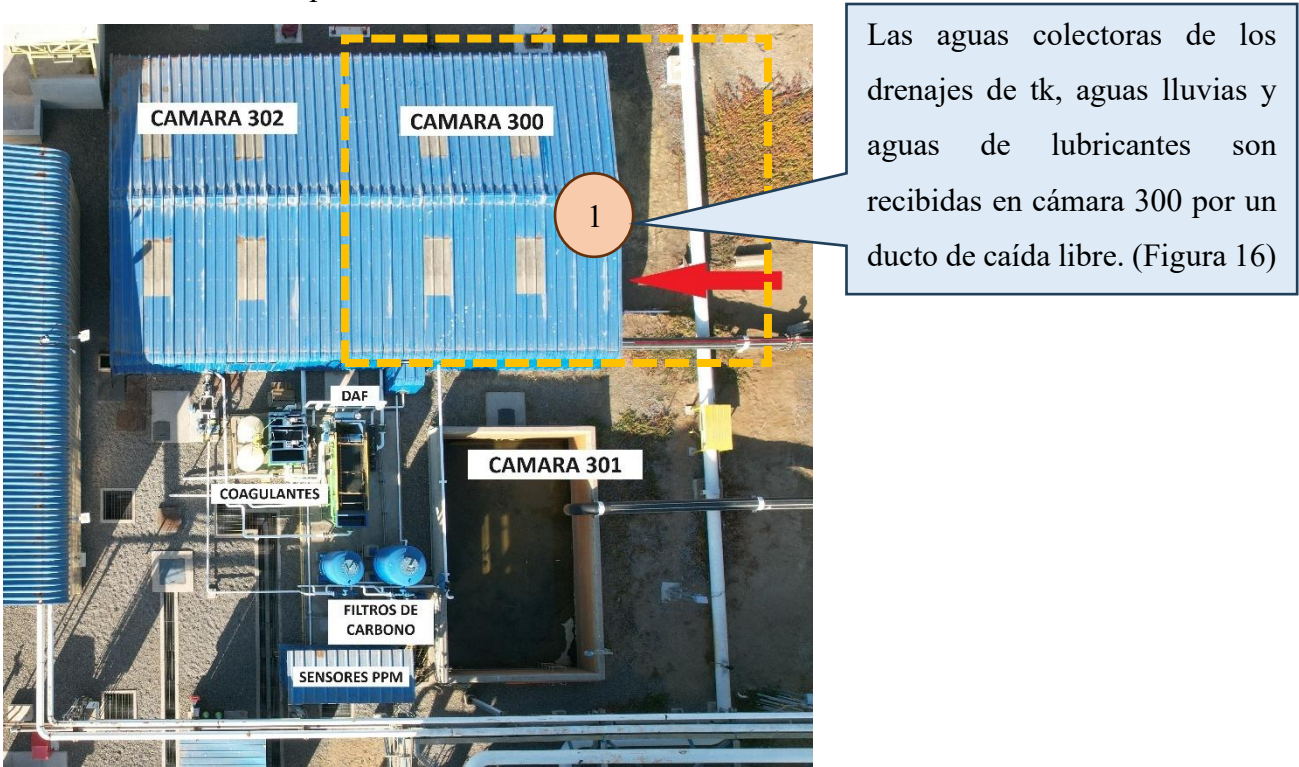
Planta de Quintero		
Analizadores Hidrocarburos en Agua	Analizador OCD CW	
	Marca	RIVERTRACE
	Modelo	OCD CW
	Sistema de medición	Extractivo
	Parámetros y rangos de medida	Hidrocarburos y aceites: 0 – 99 ppmv.
	Principio de medida	Absorción y dispersión de luz
	Identificación (Nº serie)	107516016009-2018
	Analizador TD4100	
	Marca	TURNER INSTRUMENTS
	Modelo	TD-4100
	Sistema de medición	Extractivo
	Parámetros y rangos de medida	Hidrocarburos Aromáticos: 0 – 100 ppmv.
	Principio de medida	Fluorescencia Ultravioleta
	Identificación (Nº serie)	41-1123-CE
Límite de vertido de la planta		20 mg/l de hidrocarburos totales o 23,5 ppmv.
NOTA:		
Debe tenerse en cuenta que el Valor límite de vertido de la planta está establecido en mg/l, lo cual es equivalente a ppm en masa, sin embargo, el analizador mide en ppm en volumen.		
Para que ambas unidades sean equivalentes, el valor límite de vertido debe dividirse por la densidad del producto que se usa para realizar la calibración del analizador, esto es Diesel en este caso.		
Por tanto, el valor límite en ppm en volumen sería equivalente a 20 mg/l o ppm en masa / 0,85 kg/litro (densidad aproximada del diésel) sería 23,5 ppm en volumen.		

Fuente: Manual de operaciones, planta efluentes.

Figura 15: Ficha técnica analizadores

1.4.3. Proceso de la planta efluentes:

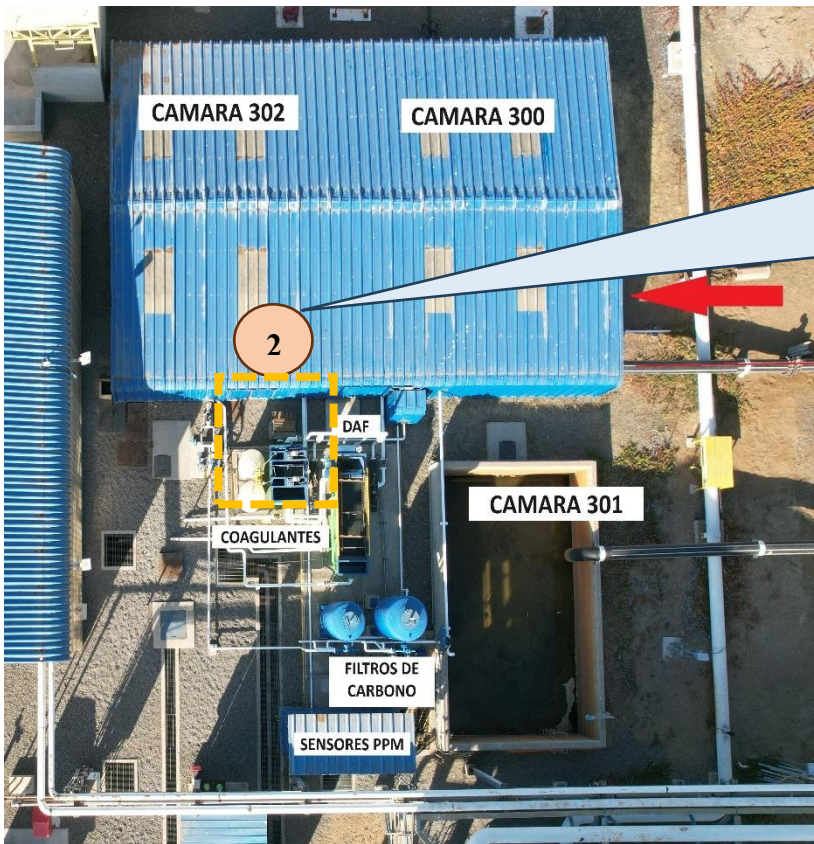
- Etapa 1:



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16: Etapa 1 proceso planta efluentes

- Etapa 2:



Desde la cámara 300 a través de 2 bombas tornillo que traslada las aguas residuales a los recipientes en donde se le aplica sustancias químicas. (Figura 17)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 17: Etapa 2 proceso planta efluentes

- Etapa 3:

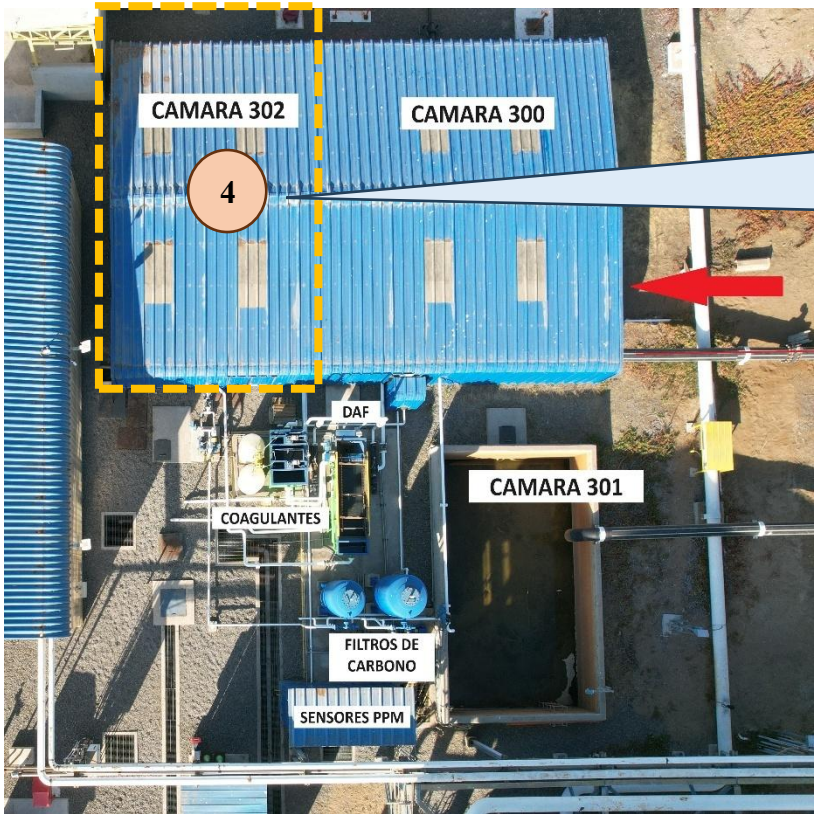


Luego de pasar por los tanques coalescedores el agua es introducida a un componente llamado DAF, el cual por la inyección de aire disuelto las partículas de químicos, hidrocarburos y grasa es elevado a la parte superior del agua. Estos solidos son arrastrados por unas barreras de caucho hacia un depósito que está conectado al estanque de borras y solidos con hidrocarburos. (Figura 18)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 18: Etapa 3 proceso planta efluentes

- Etapa 4:

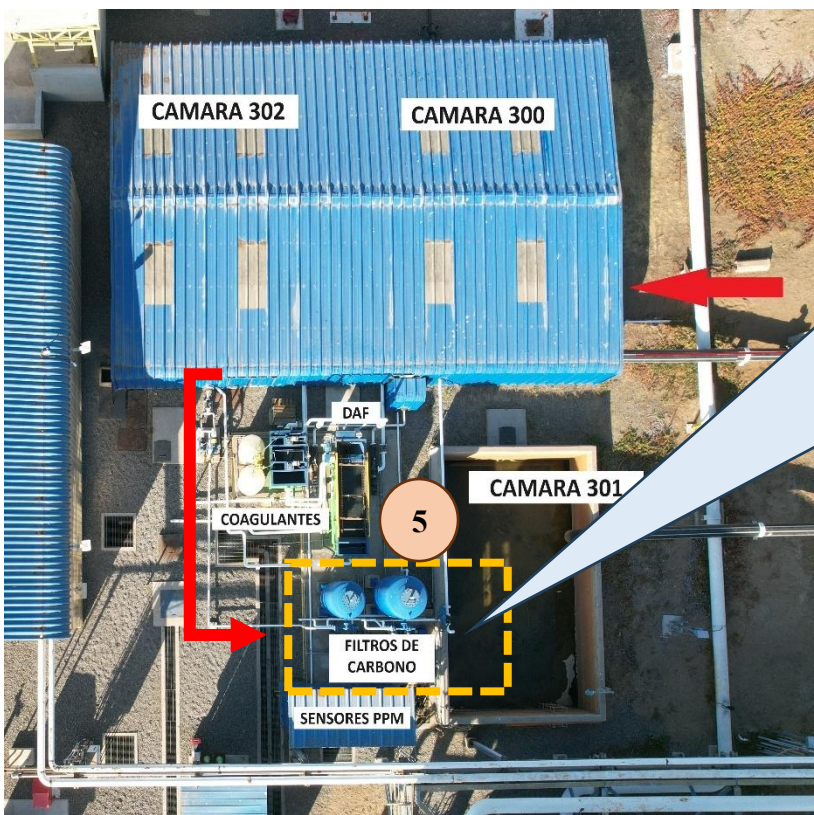


Del agua que se extraen las partículas sólidas, esta es depositada a través de ductos hacia la cámara 302. (Figura 16)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 19: Etapa 4 proceso planta efluentes

- Etapa 5:

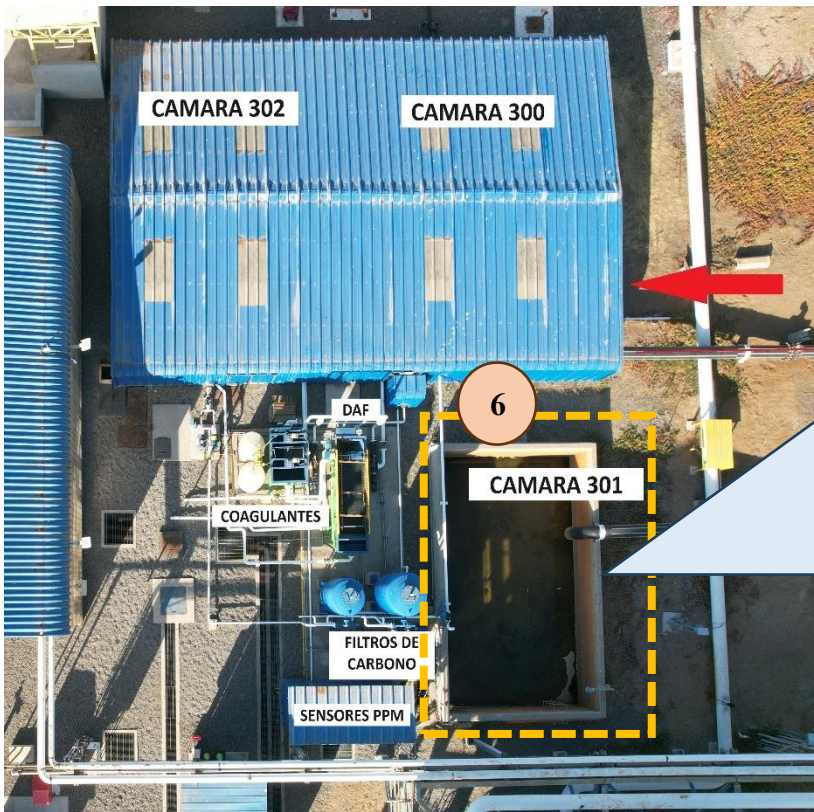


El agua depositada en la cámara 302 es succionada mediante 2 bombas centrifugas y es trasladada hacia el filtro de carbono y de arcilla; los cuales eliminan contaminantes químicos, y filtran partículas con microorganismos. (Figura 20)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 20: Etapa 5 proceso planta efluentes

- Etapa 6:

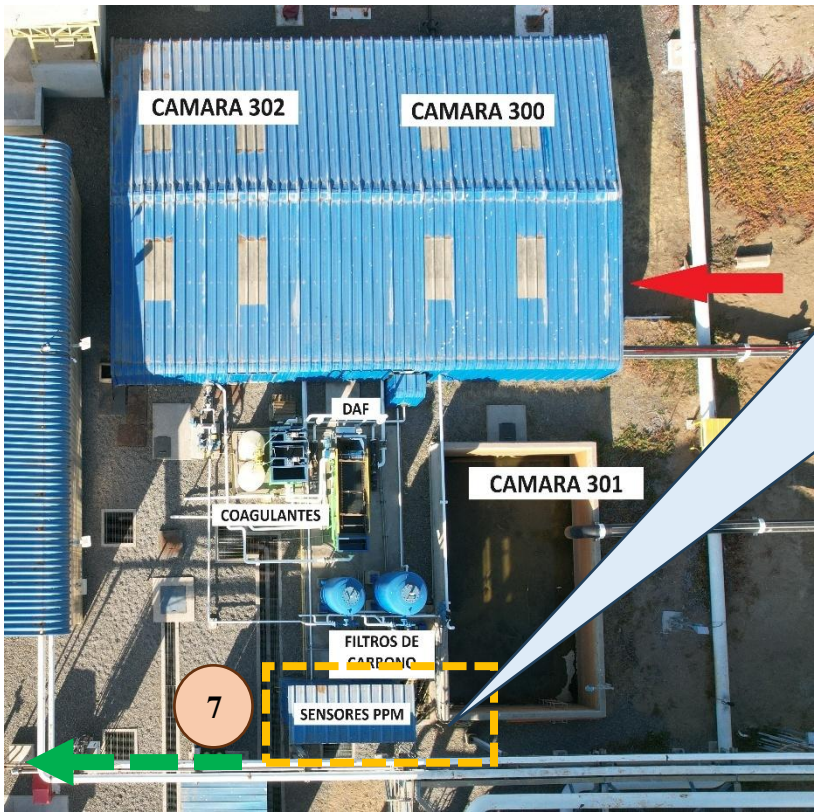


Una vez el agua es filtrada por medio de la gravedad es almacenada en la cámara 301 la cual tiene un sensor que censa el líquido y si este da como resultado sobre los 20 ppm es devuelto a la cámara 300 para volver a iniciar el proceso. Sin embargo, este proceso solo ocurre cuando existe una saturación en los filtros. (Figura 21)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 21: Etapa 6 planta efluentes

- Etapa 7:



Cuando la cámara 301 es llenada al menos a la mitad o $\frac{1}{4}$ de su capacidad esta es censada y cuando el resultado sea bajo 20 ppm esta agua es liberada al emisario submarino. Al final del emisario submarino existe un difusor que facilita la expulsión del agua. (Figura 22)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 22: Etapa 7 proceso planta efluentes

El sensor es capaz de identificar la concentración de hidrocarburos en el agua, y dependiendo del valor medido (Figura 23), comparado con el valor aprobado por la autoridad, deriva el flujo directo a la salida de la instalación siempre y cuando el valor este dentro de lo aprobado (entre 5 y 50 ppm). (Figura 24)



Fuente: Elaboración propia, cámara intrínseca.

Figura 23: Etapa 8 plantas efluentes



Fuente: Elaboración propia, cámara intrínseca.

Figura 24: Etapa 9 plantas efluentes

1.5. NORMATIVA REGULADORA

El presente proyecto está regulado por tres aspectos, al inicio de la construcción del terminal de productos importados y como todo proyecto de gran envergadura es necesario contar con resolución de calificación ambiental (RCA) para cumplir con la normativa nacional.

A lo largo del funcionamiento del terminal y en respuesta a los acontecimientos medio ambientales se agregaron dos aristas importantes, por un lado; el Decreto supremo 105 que aprueba un “Plan de prevención y descontaminación atmosférica para las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví” y la materialización del decreto antes mencionado se define el “Plan de prevención y de descontaminación atmosférico” (PPDA).

1.5.1. Resolución de calificación medioambiental (RCA):

Califica ambientalmente favorable el proyecto de “Terminal de productos importados” según la resolución exenta N°304 un 8 de noviembre del año 2005, el cual define a grandes rasgos los siguientes parámetros para dar cumplimiento a las normas jurídicas vigentes:

- Ubicación: Región de Valparaíso, comuna de Quintero, específicamente en Camino Costero El Bato 1111. Superficie de alrededor de 54.000 m²
- Descripción del proyecto: Almacenamiento de combustibles y tratamiento de aguas residuales y un emisario.
- Detalles de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales:
 - Las aguas provenientes de caminos, techos, drenajes de aguas lluvias, del área de bombas y manifold, serán descargadas directamente a los sumideros de aguas lluvias.
 - El sistema de tratamiento de aguas residuales es por floculación y separación por coalescencia, asegurando una concentración final no superior a los 20 ppm.
 - Tras la comprobación de existencia de trazas de hidrocarburos en el agua, esta será enviada a la planta de efluentes, donde se producirá la separación de 2 fases, agua en la parte inferior y combustible en la parte superior. La parte superior por contener hidrocarburos será enviada a estanques de almacenamientos y el agua restante será descargada mediante un emisario submarino.

- El agua de drenaje de los estanques será llevada hacia un pozo acumulador gravitacionalmente, en el pozo operará una bomba de tipo centrifuga que alimentará el separador de placas.

1.5.2. Decreto supremo 105:

Se crea el decreto supremo 105 en respuesta de la zona saturada por anhídrido sulfuroso y material particulado respirable, iniciando el proceso de revisión, formulación y actualización del plan de descontaminación atmosférico del complejo industrial Las Ventanas.

Dado que el plan aprobado con anterioridad al año 2017 no cumplía con la finalidad establecida por la norma, las medidas dispuestas en el mismo no permitían una efectiva reducción de los contaminantes.

Algunos aspectos importantes:

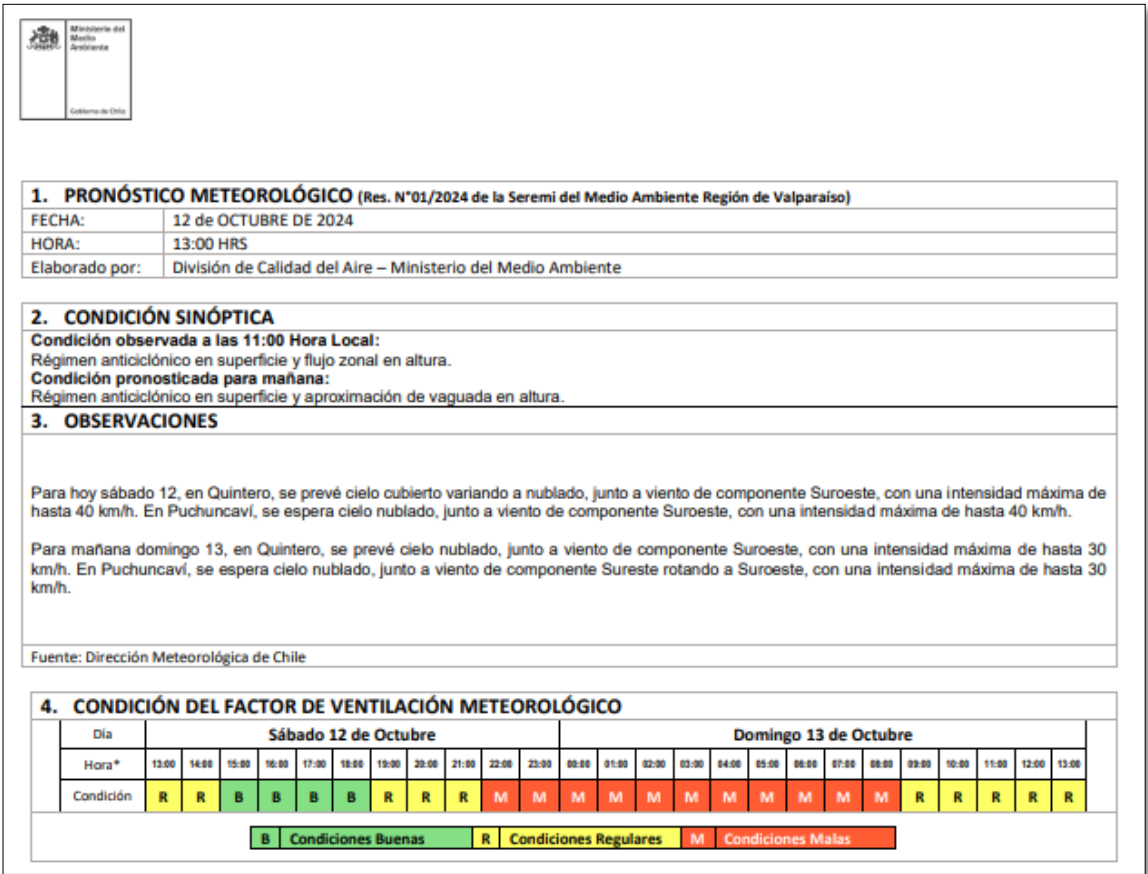
- Ingreso a la contraloría la revisión del decreto debido a 792 consultas de salud asociadas a eventos contaminantes en el aire de Quintero y Puchuncaví.
- Define como territorio complejo debido a que la variabilidad meteorológica está fuertemente modulada por efectos de mar, temperatura, humedad, vientos y nubosidad favoreciendo el transporte de contaminantes ocasionando una especie de “fumigación costera”.
- Disminución de las concentraciones diarias, trianuales y anuales, reducción de emisiones que permite la contribución de emisiones directas de material particulado de forma pública y transparente al medio público.
- Los sistemas de tratamiento de aguas residuales incluidos los separares API, lagunas de ecualización/retención, reactores y emisarios, deberán implementar mejoras técnicas que impidan la emisión de COVs al exterior.

1.5.3. Plan de prevención y de descontaminación atmosférico:

Con el objetivo de conseguir la descontaminación de las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví, en abril del 2019 entro en vigencia el PPDA, en un plazo de máximo de cinco años se alcance el cumplimiento de las normas y metas de calidad del aire en la zona.

Aspectos que considera el PPDA:

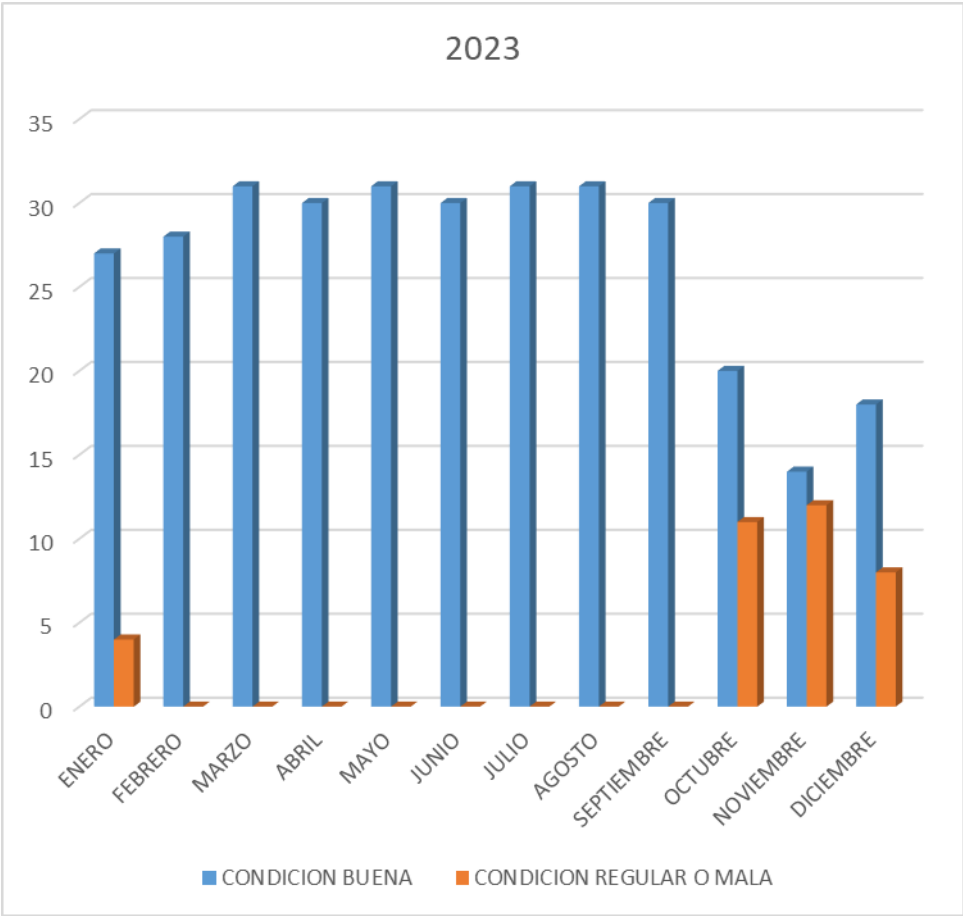
- Creación de una plataforma web que permite conocer el estado de la calidad del aire de la zona en tiempo real desde las 13 estaciones de monitoreo de calidad del aire distribuida en el área.
- La plataforma <https://airecqp.mma.gob.cl/> informa sobre la calidad del aire a través de un mapa, contiene gráficos que reflejan la evolución de la calidad del aire.
- En la plataforma <https://airecqp.mma.gob.cl/pronostico-de-ventilacion/> informa sobre el pronóstico meteorológico día a día, se actualiza cada día alrededor de las 12:00 de la tarde a 13:00 horas. Señala estado del cielo, orientación del viento y su intensidad. Por último, informa sobre la condición de ventilación
- Condición de ventilación: Hay tres categorías, mala, regular y buena. Con la finalidad de que cada categoría norma las actividades que pueden o no realizarse.
- En base al contexto del actual proyecto la planta de efluentes se puede operar solo cuando la condición de ventilación se encuentre en la categoría “Buena”. (Figura 25)



1.5.4. Estadísticas plan de prevención y de descontaminación atmosférico:

Durante los años 2018 a 2022 los días de condición regular o mala eran aislados, donde no tenía mayor relevancia tanto para la operación de la planta, como para realización del manteniendo.

Sin embargo, desde el año 2023 a lo que ha transcurrido el 2024 hay un incremento gradualmente. Para el año 2023 los incrementos fueron de ciertos meses, pero al ser de imprevisto no se preparó para el peor escenario, lo cual provoca el colapso para los drenajes y filtración de aguas lluvias fueron críticas. Por otro lado, las mantenciones de la planta efluentes también fueron críticas para los meses de más días con condición regular o mala. (Figura 26)

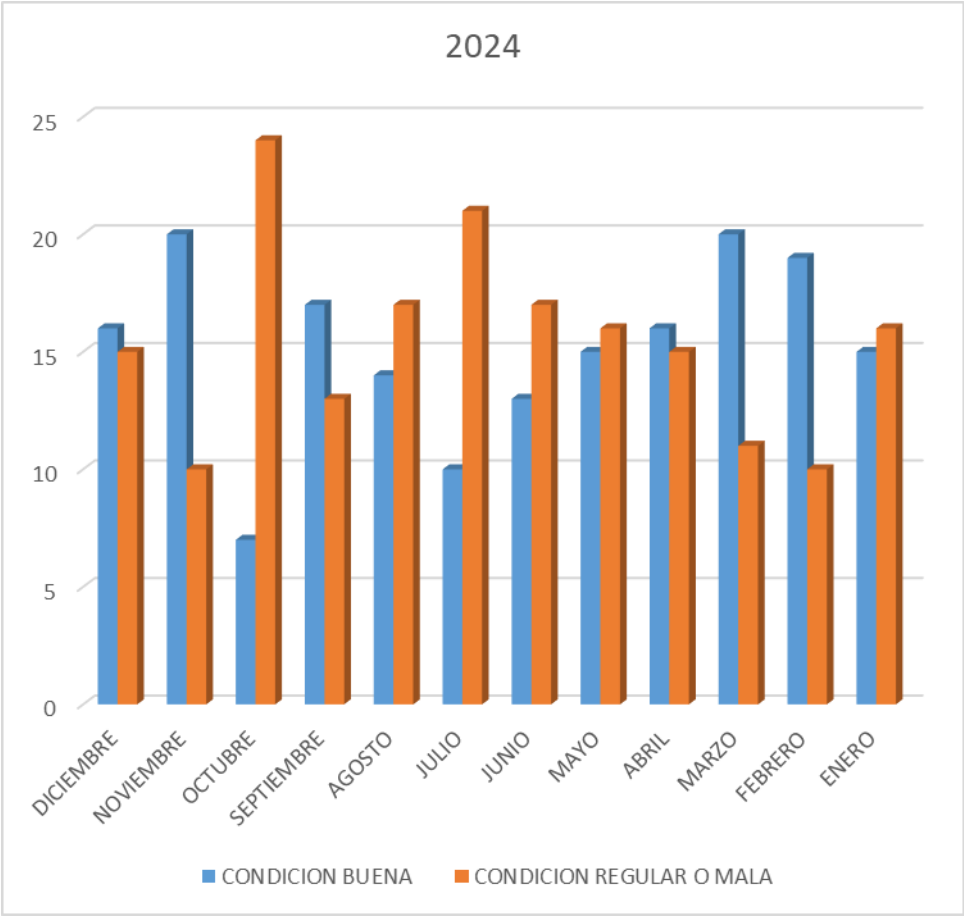


Fuente: Creación propia.

Figura 26: Estadística condición de ventilación año 2023

Para el año 2024 el pronóstico fue aún más crítico ya que en todos los meses la condición de ventilación fue de al menos 10 días y por lo menos 6 meses tuvieron más de la mitad del mes en condición regular o mala. Al dato anterior se le suma que los mayores días de mala ventilación o regular fueron meses en donde se presentaron lluvias. Para esos

episodios críticos se contrató un camión de vacío para poder retirar todas las aguas lluvias y no se acumularán e inundarán en los pretilos de los estanques. (Figura 27)



Fuente: Creación propia.

Figura 27: Estadísticas de ventilación año 2024

1.6. ALCANCE INVESTIGATIVO:

En respuesta al contexto en la cual la planta de efluentes opera es necesario definir que las mejoras asociadas a la operación y al plan de mantenimiento está delimitado completamente por el cumplimiento del PPDA en primera prioridad.

En base a la normativa vigente y a los acotados tiempos de ventilación Buena, se crea la necesidad de aprovechar los tiempos en los cuales se puede activar el funcionamiento de la planta de efluentes.

En las gráficas anteriores se justifica la importancia de seleccionar de mejor forma las tareas de mantenimiento y planificar ya sea con personal interno como los contratistas.

Esto implica que en el siguiente capítulo se desarrolle la trazabilidad de la condición de ventilación, funciones y componentes de la planta de efluentes, propuesta de mejora operacional y al plan de mantenimiento de la planta.

1.7. PLAN DE MANTENIMIENTO PLANTA EFLUENTES:

El plan de mantenimiento el cual se estaba ejecutando corresponde a tareas descrita sin detalles en un manual procedimientos operacionales que hace referencia a “Tratamiento de efluentes en plantas de almacenamiento” entrando en vigencia el año 2019, desde ese año no existe alguna modificación ni estudio asociado a la planta efluentes.

A continuación, se adjuntan partes del manual de procedimientos en los cuales define la planta efluentes propiamente tal y habla en detalles menores sobre el mantenimiento.

En la figura 28 se define la portada, el alcance, las referencias en la que se basa el manual y empieza a describir las cámaras API que no en todas las plantas existen.

MANUAL DE PROCEDIMIENTOS OPERACIONALES		TEMA: "Tratamiento de efluentes en Plantas de Almacenamiento" COPEC	Código MPO N°14-120
Emitido por: MPS	Reemplaza a: MPO-14-120/01 Mayo 2014		Versión N° 02
			Página 1 de 12
			Fecha vigencia Noviembre 2019

I. ALCANCE

Aplica a todas las Plantas de la Cía.

II. OBJETIVO

Este MPO integra las distintas formas de tratar los efluentes, que se generan en los procesos y actividades, en cualquier Planta de Almacenamiento de Combustibles administradas por Copec S.A.

III. REFERENCIA

MPO-08-620: "Ropa y Elementos de Protección Personal".
MPO Capítulo 12: "Mantenimiento de las Instalaciones".
Plan de Emergencia de la Planta
RCA (si aplica)

ANEXOS

Leyes y decretos aplicables:

- Ley 19.300, MinSegPres
- Decreto 148 Minsal
- Decreto 78/2009 Minsal
- Tablas 4 y 5 DS 90/2000 MinSegPres

IV. CONTENIDO

CAMARAS SEPARADORAS API Y RECEPTORAS DE DRENAJES

1. DESCRIPCIÓN LA ACTIVIDAD

Las Cámaras Separadoras API dispuestas en todas las Plantas, son instalaciones críticas y fundamentales para cumplir los objetivos ambientales de la Plantas, ya que derivan a ella las aguas de los pretils de contención, que incluye la operación de drenaje de fondo de tanques y en algunos casos estacionamientos.

La función de la Cámara API es capturar en forma eficiente, los residuos de combustibles, utilizando para ello la diferencia de densidad entre el Hc y el agua. De esta forma, se permite recuperar o eliminar el producto y permite evacuar sólo las aguas que serán enviadas a plantas separadoras o piscinas de evaporación. Es importante considerar que todas las aguas potencialmente contaminadas con HC deben pasar primero por la cámara separadora API antes de cualquier otro equipo de control de efluentes.

Por otra parte, evita o controla que residuos de combustibles y/o agua contaminada salgan de las plantas, excepto bajo condiciones muy controladas.

Fuente: Manual de procedimientos operacionales 14-120/01

Figura 28: Pagina 1

En la figura 29, demuestra la página 6 del documento el cual señala un mantenimiento generalizado para todas las plantas y cita a otro manual de operaciones del cual según investigaciones nunca fue enviado ni presentado en planta, plo cual obligo al

mecánico de planta implementar una mejorar el plan de mantenimiento de forma autónoma sin regularización por parte del departamento de ingeniería.

TRATAMIENTOS DE EFLUENTES EN PLANTAS DE ALMACENAMIENTO	Página 6 de 12	N° 14-120-02
--	----------------	--------------

El Sistema de Separación posee inicialmente un sensor, que es capaz de identificar la concentración de Hc en agua (ppm), y dependiendo del valor medido, comparado con el valor aprobado por la autoridad, deriva el flujo directo a la salida de la instalación siempre y cuando el valor esté dentro de lo aprobado.

De no ser así, inicia el proceso de separación enviando el flujo a los otros componentes del Sistema, tales como estanques coalescedores, Dissolved Air Flotation (DAF), filtro de carbón activo, según corresponda a cada instalación.

El Sistema además contempla otros sensores, que están dispuestos de forma tal que miden la eficiencia de las distintas etapas de separación a las que se ha encausado el flujo.

Cuando la concentración en ppm no se logra bajar a lo deseado con las placas coalescedoras, los sensores operarán para que el sistema lo procese desviando el flujo a los siguientes equipos: DAF filtro de carbón activo, en las plantas que cuenten con estos equipos. De lo contrario, se recirculará el flujo hacia el inicio del proceso.

3. MANTENIMIENTO

Los sensores deben estar calibrados de acuerdo a lo que estipula el proveedor de los equipos y sus resultados deben ser verificables con algún organismo externo (laboratorio). Estas verificaciones se deben hacer a lo menos dos veces al año y sobre todo antes de la entrada del Invierno, que es la época de mayor lluvia y por ende de mayor uso del sistema. El procedimiento específico para realizar esta calibración está definido en el MPO de Mantenimiento de Sistemas de Separación.

Válvulas de apertura manual. Se debe revisar que su sistema de apertura y cierre opere en perfectas condiciones, de manera de evitar que se produzcan descargar involuntarias. Eliminar cualquier elemento extraño que pueda trabar su funcionamiento.

Válvulas electro-actuadas. Deben ser mantenidas preventivamente por el proveedor de ellas o contratista experto. La frecuencia de esta mantención está determinada en el Programa de Mantenimiento.

Cuerpos motor/bomba. Se debe revisar semanalmente que estén con aceite lubricante, en los niveles que corresponda y que se encuentre libre de agua. Revisar que no existan goteos de agua que ameriten un cambio de sellos y/o apertura del equipo. Debe poner atención para detectar ruidos extraños o diferentes al normal de estos equipos.

Fuente: Manual de procedimientos operacionales 14-120/01

Figura 29: Pagina 6

En las siguientes páginas del documento se describen más componentes de la planta efluentes y un breve resumen del emisario el cual su mantenimiento depende de un tercero por lo que solo acota que se delega a una empresa contratista.

CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE ACTIVOS CRITICOS

2. IDENTIFICACIÓN Y JERARQUIZACIÓN DE ACTIVOS PLANTA EFLUENTES

Para lograr la identificación y jerarquización de activos se desarrolla la metodología de identificación de peligro, el análisis de modos de falla y efectos. Esta metodología permite el entendimiento global del sistema, las formas en las que pueden presentarse las fallas de los quipos que lo componen, junto a las respectivas acciones o recomendaciones, las cuales se traducen en tareas dentro del plan de mantenimiento.

En la planta de efluentes existen diversos activos y maquinarias que componen el proceso de aguas residuales. A través del análisis de criticidad, se identifica y jerarquiza cada uno para su inclusión en el plan de mantenimiento y mejora.

2.1. ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Este análisis permite identificar y jerarquizar los activos de la planta de efluentes obteniendo beneficios al aplicar una metodología de carácter técnico.

2.1.1. Definición del análisis:

Metodología que permite realizar orden de los componentes que conforman un activo o sistema, permite identificar cuáles son los elementos más propensos a fallar y que comúnmente provocan el cuello de botella en el proceso de mantenimiento o de operación.

2.1.2. Cuantificación de equipos y/o componentes de la planta de efluentes:

Circuito Coalescedor:

- Bomba tornillo 1.
- Bomba tornillo 2.
- Maquina coalescedora.

Circuito DAF (Sistema de flotación por aire disuelto)

- Bomba multi-etapa
- DAF.

Circuito cámara 302 a filtros:

- Bomba centrífuga A.
- Bomba centrífuga B.
- Filtros de carbón y arcilla

Circuito de sensores:

- Válvula de compuerta a emisario.
- Analizador OCD CW.
- Analizador TD4100.
- Bomba toma de muestra.

2.1.3. Clasificación de efectos:

Para realizar el análisis antes mencionado se deben definir y establecer criterios para identificar cuáles son los elementos más propensos a fallar, se pueden clasificar en; “no crítico”, “semicrítico” y “crítico”.

La criticidad se puede define en una formula la cual es establecida basada en la norma SAE J1739, considerando las variables como:

$$Criticidad = Frecuencia \cdot Consecuencia$$

En la cual la frecuencia se relaciona con la cantidad de fallas que se presenta en el activo, en relación a otro aspecto, la consecuencia se relaciona con el impacto que puede al proceso, ya sea en costos, seguridad y/o medio ambiente.

Incluyendo los anteriores parámetros se obtiene la siguiente formula:

Consecuencia

$$\begin{aligned} &= (\text{Impacto operacional} * \text{Flexibilidad operacional}) \\ &+ \text{Costos de mantenimiento} \\ &+ \text{Impacto al medio ambiente y seguridad} \end{aligned}$$

Los cuales se definen de la siguiente manera:

- Impacto operacional: Disminución de la purificación del agua o paro de la planta de efluentes.
- Flexibilidad operacional: Capacidad de poder seguir operando a pesar de desperfectos en uno de los activos.
- Costos de mantenimiento.
- Frecuencia: Cantidad de veces que ocurre un evento.

En la práctica se obtiene la tabla 2-1 con la categorización de cada criterio para calcular la criticidad de cada circuito y activo.

En la siguiente tabla 1; se clasifican los efectos antes definidos y se ajusta el parámetro de costo de mantenimiento iniciando con un monto menor a \$200.000 en base al valor del repuesto que se mantiene en planta. Luego un rango mayor a \$200.000 el cual considera el valor del repuesto más la logística del traslado desde Santiago a la planta en Quintero. Así se realiza a la demás clasificación del costo según cotizaciones y facturas antes investigadas.

CLASIFICACIÓN DE EFECTOS					
Item	Impacto operacional	Flexibilidad operacional	Costo de mantenimiento	Impacto al medio ambiente	Seguridad de las personas
1	Efecto nulo en la proceso	Stock de repuestos y mecánico de planta	Menor a \$200.000	No genera riesgo medio ambiente	No genera riesgo a las personas
2	Disminución en la filtración o traslado de agua y/o solido	Stock de repuestos en bodega central (Santiago) y mecánico de planta	Mayor a \$200.000 y menor a \$500.000	Derrames o estancamiento menores dentro de los limites del reporte de buena ventilación	Riesgo menor, sitio delimitado a solo personal autorizado de la planta
3	Menos de una semana de paro parcial y perdida parcial del proceso	Sin existencias de stock se solicita a proveedor nacional y mecánico de planta	Mayor a \$500.000 y menor a \$800.000	Derrames o estancamiento mediano, informe a la autoridad por reparación en condicion de ventilación regular o mala	Riesgo mediano a la salud del personal, solo persnal calificado con estrictas medidas de seguridad
4	1 a 2 semanas de paro, daño a la instalaciones paro total de la planta	Sin existencias de stock se solicita a proveedor nacional y trabajo realizado por contratista	Mayor a \$800.000 y menor a \$1.000.000	Derrames o estancamiento significativo a tierra o mar con efecto local controlable sin efecto a vida marina	Riesgo grave a la salud de la planta y personal cercano
5	Más de 3 semanas de paro de la planta y afecto a los drenajes y funcionamiento de la planta en general	Sin existencias de Stock se solicita a proveedor internacional y trabajo realizado por contratista	Mayor a \$1.000.000 y menor a \$2.000.000	Derrames o estancamiento de gran volumen con efecto en vida marina. Contaminacion sin control	Riesgo grave a la salud de un radio comunitario

Fuente: Elaboración propia
Tabla 1: Categoría de efectos

2.1.4. Jerarquización de activos por circuito:

En la siguiente tabla (2-2) se desarrolla el análisis a las 3 etapas o circuitos de la planta efluentes junto a la tabla de criticidad para realizar la ejecución.

CRITICIDAD DE ACTIVOS								
Equipos	Impacto operacional	Flexibilidad operacional	Costos	Impacto medioambiental	Seguridad de personas	Consecuencia	Frecuencia	Criticidad / Categoría
CIRCUITO COALESCEDOR								
Bomba tornillo 1	2	4	3	1	1	13	1	13
Bomba tornillo 2	2	4	3	1	1	13	1	13
Máquina coalescedora	2	3	4	1	1	12	1	12
CIRCUITO DAF								
Bomba multietapa	2	1	1	1	1	5	1	5
DAF	3	2	2	2	2	12	1	12
CIRCUITO DE CÁMARA 302 A FILTROS								
Bomba centrífuga A	3	3	3	2	3	17	3	51
Bomba centrífuga B	5	4	5	3	3	31	2	62
Bateria de filtros de carbón y arcilla	3	3	4	4	3	20	5	100
CIRCUITO DE SENSORES								
Válvula de compuerta a emisario	4	3	4	4	4	24	1	24
Analizador OCD CW	5	5	5	5	5	40	3	120
Analizador TD4100	5	5	5	5	5	40	3	120
Bomba toma de muestra	3	4	4	3	1	20	1	20

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2: Criticidad de activos

Frecuencia										
5										
4										
3										
2										
1										
Consecuencias	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3: Matriz de criticidad

2.1.5. Conclusiones del análisis criticidad de activos

A través de la tabla y matriz de criticidad se logra definir los activos críticos y relevantes para desarrollar la metodología FMECA y que en conjunto con el análisis de este mismo lograr la creación y mejor del plan de mantenimiento general de la planta de efluentes.

Los activos semi críticos de la planta de efluentes en esta investigación son las bombas centrifugas que en el análisis se desarrolló la criticidad en base a una falla catastrófica como lo fue en historiales anteriores de la planta, y en la utilización de una de ellas a la vez. En terreno los operadores operan la planta de diferentes formas, una de las malas prácticas es ocupar las dos bombas en paralelo generan una criticidad diferente.

Los activos críticos son los analizadores OCD CW y TD4100, Asimismo de la batería de filtros de carbón y arcilla. Los filtros en este proceso son críticos ya que es el proceso final de la purificación del agua y que como se señaló anteriormente el rendimiento y disponibilidad de este activo dependerá directamente de la operación que se tenga la planta de efluentes.

2.2. METODOLOGÍA FMECA

La segunda metodología a desarrollar en la investigación consta de un FMECA que a continuación se definen todos sus aspectos, etapas y aplicación.

2.2.1. Definición de la metodología:

La metodología FMECA correspondiente a las siglas en español; análisis de modos, efectos y criticidad de falla, se aplica para determinar, definir, describir y cuantificar las fallas críticas de un activo. Integrando en su análisis las fallas por el diseño del activo u operación, Incluso definir las características funcionales del activo. Provocando que en su complemento se puede estimar los escenarios probables y no probables de un activo.

Con esta metodología se pretende poner énfasis a las fallas más catastróficas y/o recurrentes de un activo, anticipándose en un gran porcentaje a la falla mejorando la

operación y el plan de mantenimiento por consiguiente se obtiene mayor disponibilidad del equipo, ahorros en mantenciones costosas potenciando las mejoras y la confiabilidad del equipo.

2.2.2. Etapas de la metodología FMECA:

- Jerarquización de los activos según su criticidad: Anteriormente se define como activo critico las bombas centrifugas, analizadores OCD CW, TD4100, batería de filtros de carbón y arcilla.
- Análisis funcional: Permite reconocer e identificar cuáles son las funciones del activo y cuál es el rendimiento que el usuario espera. Para esta etapa se aplica la herramienta SIPOC.
- Modos de fallas: Define la forma en la cual el activo pierde su capacidad para desempeñar las funciones requeridas, a cada modo de falla por lo general le corresponde una tarea de mantenimiento o una acción para mitigar esta falla.
- Efectos y consecuencias de Fallas: Los efectos de fallas es la forma en que afecta al circuito o proceso de la planta efluentes, las consecuencias están relacionadas a la seguridad de las personas, medio ambiente y producción.

2.3. APLICACIÓN SIPOC ANÁLISIS FUNCIONAL

En los siguientes análisis funcionales de los activos con más criticidad de la planta efluentes según las tablas desarrolladas anteriormente, se obtiene las siguientes descripciones:

2.3.1. Análisis SIPOC bomba centrífuga: (Tabla 4)

SIPOC BOMBA CENTRÍFUGA				
<u>PROVEEDOR</u>	<u>ENTRADA</u>	<u>PROCESO</u>	<u>SALIDA</u>	<u>CLIENTE</u>
Cámara 302	Aguas provenientes de drenajes de tk y slops. Aguas desde planta lubricantes. Aguas lluvias	Impulsar agua desde cámara 302 con un rango de caudar desde 160 lts/min a 200 lts/min con una presión de 20 psi a 30 psi.	Ducto que se conecta hacia los filtros	Cámara 301 posteriormente emisarioFiltros de carbón activo y filtros de arcilla con un diferencial de presión de hasta 10 o 15 psi

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4: Análisis Sipoc bomba centrífuga

2.3.2. Análisis SIPOC batería de filtros de carbón y arcilla: (Tabla 5)

BATERÍA DE FILTROS DE CARBÓN Y ARCILLA				
<u>PROVEEDOR</u>	<u>ENTRADA</u>	<u>PROCESO</u>	<u>SALIDA</u>	<u>CLIENTE</u>
Bomba centrífuga	Agua filtrada procesada desde la cámara 302	El agua desde la cámara 302 es ingresada a travez de la bomba centrífuga al filtro de carbon activo que por medio de la gravedad y el impulso de la bomba genera que ingrese al segundo filtro de arcilla	Agua filtrada bajo los parámetros establecidos por Copec y la autoridad	Cámara 301

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5: Análisis Sipoc batería de filtros

2.3.3. Análisis SIPOC analizador OCD CDW: (Tabla 6)

SIPOC ANALIZADOR OCD CDW				
<u>PROVEEDOR</u>	<u>ENTRADA</u>	<u>PROCESO</u>	<u>SALIDA</u>	<u>CLIENTE</u>
Cámara 301	Aguas filtradas y procesadas desde los filtros	Mide concentraciones de hidrocarburos y aceites en concentraciones entre 0 - 99 ppm	Alarma de aceites o hidrocarburo marcando una alarma dentro de un rango de hasta 20 ppm según lo permitido por reglas de Copec	Analizador TD4100

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6: Análisis Sipoc analizador OCD CDW

2.3.4. Análisis SIPOC analizador TD4100: (Tabla 7)

SIPOC ANALIZADOR TD4100				
<u>PROVEEDOR</u>	<u>ENTRADA</u>	<u>PROCESO</u>	<u>SALIDA</u>	<u>CLIENTE</u>
Analizador OCD CDW	Agua filtrada procesada desde 301 y que fue censada anteriormente por el analizador OCD CDW	Detecta hidrocarburos aromáticos mediante fluorometría en combinación a una celda de flujo patentada, activa dispositivo de control de proceso para detener, desviar o diluir flujos de proceso.	Agua purificada censada de hasta 20 ppm según lo permitido por reglas de Copec, de lo contrario activa dispositivo de control de proceso para; detener, desviar o diluir flujos de proceso.	Emisario

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7: Análisis Sipoc analizador TD4100

2.4. APLICACIÓN ANÁLISIS DE FALLA (FMECA)

El análisis de fallas se desarrolló bajo los reportes de las ordenes de trabajo correctivas históricas que se cargan a Fracttal, también se agregaron fallas acordes al contexto la cual opera la planta de efluentes.

El fin de esta etapa es poder lograr la detección anticipada de las fallas reiterativas que se presenta en un activo.

2.4.1. Modos de falla y efectos: Bomba Centrífuga: (Tabla 8)

Modos de falla y efectos: Bomba centrífuga		
Falla operacional	Modos de falla	Efectos de falla
FALLA TOTAL Bomba no transmite caudal y presión al sistema.	Falla en motor: Cables sueltos o rotos, mal conexión de cables, fusibles quemados, problemas bobinado del motor.	Motor no arranca, sentido de rotación incorrecto
	Cañería de entrada o salida averiada y/o obstruida, sobre consumo provocando caídas de protecciones eléctricas	Motor no arranca por obstrucción de cañería, bomba no ceba
FALLA PARCIAL Bomba no suministra caudal suficiente al sistema.	Impulsor roto	Caudal bajo los 10 m3/h, ruido y vibración excesiva
	Sello mecánico averiado	Caudal bajo los 10 m3/h, ruido y vibración excesiva
	Filtro saturado o roto	Caudal bajo los 10 m3/h, ruido y vibración excesiva
FALLA PARCIAL Bomba no transmite presión suficiente al sistema.	Uniones bomba y cañería en mal estado / oxidación	Filtración de fluidos y presión bajo 20 psi
	Rodamiento en mal estado	Cavitación, ruido y vibración excesivo
	Lubricación no adecuada	Ruido y vibración excesivo
	Filtro saturado o roto	Presión bajo 20 psi, cavitación

Fuente: Elaboración propia
Tabla 8: Modos de falla bomba centrífuga

2.4.2. Modos de falla y efectos: Batería de filtros de carbón y arcilla: (Tabla 9)

Modos de falla y efectos: Batería de filtros de carbón y arcilla.		
Falla operacional	Modos de falla	Efectos de falla
FALLA TOTAL Filtros bloqueados.	Fallo en válvula mariposa	Agua no ingresa a los filtros
	Fallo en válvula mariposa	Filtración de fluidos por fuera de los filtros
FALLA PARCIAL Filtros no realizan filtrado de agua.	Corrosión en juntas del tanque filtrador	Filtración de fluidos al ambiente
	Carbón activo sin propiedades químicas	Diferencial de presión bajo los 15 psi, agua filtrada supera los 20 ppm

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9: Modos de falla batería de filtros

2.4.3. Modos de falla y efectos: Analizador OCD CDW: (Tabla 10)

Modos de falla y efectos: Analizador OCD CDW		
Falla operacional	Modos de falla	Efectos de falla
FALLA TOTAL Falla en la medición de ppm	Toma de muestra obstruida por oxidación debido al bajo control ambiental	Agua no ingresa al analizador
	No existe instrumento para indicar caudal de la muestra hacia el analizador	Mal diseño

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: Modos de falla analizador OCD CDW

2.4.4. Modos de falla y efectos: Analizador Truner TD4100: (Tabla 11)

Modos de falla y efectos: Analizador Turner TD4100		
Falla operacional	Modos de falla	Efectos de falla
FALLA TOTAL Falla en la medición de ppm	Toma de muestra obstruida por oxidación debido al bajo control ambiental	Agua no ingresa al analizador
	Saturación en la celda de muestra	Agua censada no evacua a cámara 301
	No existe instrumento para indicar caudal de la muestra hacia el analizador	Mal diseño

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11: Modos de falla analizador TD4100

2.5. JERARQUIZACIÓN PRIORIDAD DEL RIESGO:

Para cuantificar el riesgo que genera una falla en un activo se establece a través de una formula la cuantificación en la sigla NPR, relacionando la severidad, ocurrencia y detección. El número NPR refleja la prioridad que debe tener una falla para ejecutar acciones que puedan prevenirla o mitigarla.

$$NPR = S * O * D$$

NPR: Número de prioridad del riesgo

S: Severidad

O: Ocurrencia

D: Detección

2.5.1. Severidad:

La severidad define la gravedad en la que se presenta la falla, la afectación a los trabajadores, ambiente y activo. En la siguiente tabla se identifica los criterios en la cual se desarrollará el número de prioridad de riesgo. (Tabla 12)

SEVERIDAD DE FALLA		
Efecto	Severidad del efecto	Criterio
Peligro critico sin aviso	Ocurrencia sin alarma, causa graves daños al operador y/o perdida total activo	10
Peligro con aviso	Ocurrencia con alarma, graves daños a la operación y perdida total del activo	9
Muy alto	Falla total, grandes costos de reparación	8
Alto	Fallas de operación reduciendo considerablemente a la vida util del activo y a la operación.	7
Moderado	Falla altamente susceptible, puede causar graves daños al activo	6
Bajo	Falla en la función del activo, se percibe significativamente los sintomas pero no imposibilita su operación.	5
Muy bajo	Falla menor: No dificulta significativamente su operación pero es altamente susceptible.	4
Menor	Defecto menor: no dificulta su funcionamiento pero si se persibe ruidos o vibración.	3
Muy menor	Defecto menor: No imposibilita su función ni crea mayores dificultades al operar	2
Ninguno	Sin efecto alguno	1

Fuente: Elaboración propia
Tabla 12: Modos de falla analizador OCD CDW

2.5.2. Ocurrencia:

La ocurrencia representa la frecuencia en que las fallas ocurren en un periodo de tiempo determinado. (Tabla 13)

OCURRENCIA DE FALLA			
Probabilidad de falla		Cantidad	Criterio
MUY ALTA	Falla inevitable	1 en 2	10
		1 en 5	9
ALTA	Falla con un 80% de que ocurra	1 en 10	8
		1 en 20	7
MODERADA	Falla con un 50% de que ocurra	1 en 50	6
		1 en 100	5
BAJAS	Fallas con un 25 % de que ocurra, fallas aisladas	1 en 500	4
		1 en 1.000	3
MUY BAJAS	Falla casi poco probable y no se repite	1 en 10.000	2
		1 en 50.000	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13: Ocurrencia de la falla

2.5.3. Detección:

Finalmente, la detección cuantifica la capacidad del operador o mecánico para detectar la falla del activo. (Tabla 14)

DETECCIÓN DE FALLA		
Efecto	Severidad del efecto	Criterio
Casi imposible	No existe control aplicable para detectar la falla.	10
Muy remota	Bajo control que puedan detectar el modo de falla.	9
Remota	Remoto control que puedan detectar el modo de falla.	8
Muy baja	Muy baja probabilidad que los controles puedan detectar el modo de falla.	7
Baja	Baja probabilidad que los controles puedan detectar el modo de falla.	6
Moderada	Moderada probabilidad que los controles puedan detectar el modo de falla.	5
Moderadamente alta	Moderadamente alta probabilidad que los controles puedan detectar el modo de falla.	4
Alta	Alta probabilidad que los controles puedan detectar el modo de falla.	3
Muy alta	Muy alta probabilidad que los controles puedan detectar el modo de falla.	2
Cierta	Los controles son certeros y confiables para detectar el modo de falla.	1

Fuente: Elaboración propia
Tabla 14: Detección de la falla

2.6. ANÁLISIS: EFECTOS, CONCUENCIAS DE FALLAS Y NPR:

En las siguientes tablas se representa las consecuencias y plan de acción para los efectos de fallas de los activos crítico de la planta de efluentes, además del cálculo de la clasificación del riesgo del efecto de falla asociado.

Los valores más alto del NPR serán identificados como los factores más críticos a incluir en el plan de mantenimiento, con el objetivo de mitigarlos o bajar su tasa de ocurrencia.

2.6.1 Consecuencias de fallas bomba centrífuga: (Tabla 15)

BOMBA CENTRÍFUGA						
Efecto de la falla	Consecuencias	Plan de acción	Críticidad			
			S	O	D	RPN
Motor no arranca, sentido de rotación incorrecto	• Proceso de traslado de agua desde cámara 302 a filtros detenido en su totalidad, sobrellenado • filtración al ambiente de aguas residuales.	• Inspección de sistema eléctrico y cambio de componentes en falla. • Crear una rutina de inspecciones y mantenimiento preventivo.	8	5	5	200
Motor no arranca por obstrucción de cañería, bomba no ceba	• Proceso de traslado de agua desde cámara 302 a filtros parcial o detenido en su totalidad. • Sobrellenado y derrame al ambiente de aguas residuales.	• Inspección de cañerías, válvulas y filtros de la bomba. • Cambio de algún componente en mal estado. • Crear rutina de inspección y limpieza de filtros.	8	4	5	160
Caudal bajo los 10 m3/h, ruido y vibración excesiva	• Retraso en el proceso de filtrado de aguas residuales.	• Revisión de componentes mecánicos. • Crear rutina para realizar análisis de vibración.	6	9	4	216
Filtración de fluidos y presión bajo 20 psi	• Retraso en el proceso de filtrado de aguas residuales. • Derrame de aguas residuales.	• Revisión de componentes mecánicos. • Revisión de uniones en cañerías, válvulas y filtros de la bomba. • Cambio de sellos mecánicos de ser necesario.	9	7	5	315
Cavitación, ruido y vibración excesiva. Impulsor roto	• Desgaste de componentes internos de la bomba y aumento de temperatura. • Proceso semi normal de operación, pero a corto plazo se generará falla en la bomba. • Posible detención de la bomba por lo que generara sobrellenado de cámara 302.	• Revisión de componentes internos de la bomba. • Revisión de oxidación en bomba. • Cambio de impulsor. • Revisión de lubricación y aplicar si es necesario.	5	5	6	150
Ruido y vibración excesivo. Sello mecánico averiado	• Desgaste de componentes internos de la bomba y aumento de temperatura. • Proceso semi normal de operación, pero a corto plazo se generará falla en la bomba. • Posible detención de la bomba por lo que generara sobrellenado de cámara 302.	• Revisión de componentes internos de la bomba. • Revisión de oxidación en bomba. • Revisión de lubricación y aplicar si es necesario.	5	4	5	100
Presión bajo 20 psi, cavitación. Filtro saturado o roto	• Desgaste de componentes internos de la bomba y aumento de temperatura. • Proceso semi normal de operación, pero a corto plazo se generará falla en la bomba. • Posible detención de la bomba por lo que generara sobrellenado de cámara 302.	• Revisión de componentes internos de la bomba. • Revisión de oxidación en • Revisión de lubricación y aplicar si es necesario. • Limpieza o cambio de filtros bomba • Generar plan de mantenimiento preventivo.	9	8	5	360

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15: Consecuencias de falla bomba centrífuga

2.6.2 Consecuencias de fallas batería de filtros: (Tabla 16)

BATERÍA DE FILTROS DE CARBÓN Y ARCILLA						
Efecto de la falla	Consecuencias	Plan de acción	Críticadad			
			S	O	D	RPN
Agua no ingresa a los filtros. Falla en válvula mariposa.	• Estancamiento de agua en ductos, bomba centrífuga y cámara 302. • Sobrellenado cámara 302. • Saturación de filtros, daño estructural.	• Inspección y/o cambio de válvula mariposa. • Crear una rutina de inspecciones y mantenimiento preventivo.	7	2	5	70
Filtración de fluidos por fuera de los filtros. Falla en válvula mariposa.	• Estancamiento de agua en ductos, bomba centrífuga y cámara 302. • Sobrellenado cámara 302. • filtración al ambiente de aguas residuales.	• Inspección de cañerías, bomba centrífuga y válvula mariposa. • Cambio de algún componente en mal estado. • Crear rutina de inspección y limpieza de filtros.	9	2	3	54
Filtración de fluidos al ambiente. Corrosión en las juntas del tanque filtrador	• Daño a la hermeticidad de los tanques filtradores. •Filtración al ambiente de aguas residuales.	• Revisión de estructura de los filtros. • Crear rutina de inspección de corrosión. • Crear rutina mantenimiento de pintura.	8	6	4	192
Diferencial de presión bajo los 15 psi, agua filtrada supera los 20 ppm.	• Elementos filtrantes sin propiedades • Disminucion en la productividad de la planta efluentes. • Estancamiento de aguas residuales. • Saturación cámara 302.	• Cambio de elementos filtrantes. • Crear rutina de mantenimiento e inspección.	8	8	8	512

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16: Consecuencia de falla batería de filtros

2.6.3 Consecuencias de fallas analizadores OCD CDW y TD4100: (Tabla 17)

ANALIZADOR OCD CDW						
Efecto de la falla	Consecuencias	Plan de acción	Críticidad			
			S	O	D	RPN
Falla en la medición de ppm	• Estancamiento de agua en cámara 301. • Si se llenara cámara 301, se debe detener el proceso y no se podría drenar.	• Inspección y/o cambio de sensor • Crear una rutina de inspecciones y mantenimiento preventivo.	8	10	9	720
ANALIZADOR TD4100						
Falla en la medición de ppm	• Estancamiento de agua en cámara 301. • Si se llenara cámara 301, se debe detener el proceso y no se podría drenar.	• Inspección y/o cambio de sensor • Crear una rutina de inspecciones y mantenimiento preventivo.	8	3	9	216

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17: Consecuencias de fallas analizadores OCD CDW y TD4100

2.7.ANÁLISIS FMECA:

Para finalizar los análisis FMECA de los tres activos más críticos del circuito de la planta efluentes, se realizará el análisis por cada activo por separado ya que son circuitos independientes que si bien es cierto es una cadena de activos en el proceso de aguas residuales, cada uno contiene diferentes componentes, funciones y mantenimiento.

2.7.1 Análisis elemento crítico: Bomba centrífuga

Las bombas centrífugas utilizadas para el traslado de aguas residuales de cámara 302 a la batería de los filtros; los componentes eléctricos, sellos mecánicos e impulsores obtuvieron un porcentaje bajo en el número de prioridad del riesgo si bien es cierto son elementos que si fallan se detiene la operación ocurren con menor frecuencia en el historial de fallo del activo, sin embargo, es necesario crear una rutina de inspección y mantenimiento preventivo por parte del mecánico de planta.

En un nivel intermedio se encuentra los componentes mecánicos que ocasionan vibraciones y ruido excesivo, estos ocurren con una frecuencia leve pero que si no le aplican algún análisis de vibración o se les lleva un control van a ocasionar una falla. Es un síntoma de una próxima falla por lo que incluirlos en el plan de mantenimiento aportara a disminuir la probabilidad que falle.

El nivel alto del número de prioridad del riesgo son los filtros de la bomba que ocurren con alto porcentaje. Es la falla más frecuente y la que más provoca una disminución en la producción de la planta de efluentes.

En conclusión, para el plan de mantenimiento que se desarrolla en el próximo capítulo se incluirá la inspección de los componentes eléctricos, sellos mecánicos e impulsores, agregar mantención y limpieza de los filtros con mayor prioridad.

2.7.2 Análisis elemento crítico: Baterías de filtros

Los filtros de carbón activo y arcilla, los componentes relacionados a las válvulas mariposa fallan en una menor medida, el impacto y su plan de corrección no tiene mayores influencias. De igual forma se incluirán en las rutinas de inspecciones.

En el nivel intermedio las juntas mecánicas de los tanques filtradores son afectas de forma regular por el ambiente de estar a orilla de playa, en este ámbito se incluirá en el mantenimiento de pinturas e inspección.

Por último, la falla más recurrente y que más efecto tiene en la producción de la planta de efluentes es en los elementos filtrantes. Los elementos filtrantes tienen directa relación con el cambio por parte de los operadores y la operación de la planta. Puesto que los filtros están capacitados para que sean operados con una bomba centrífuga, sin embargo, los operadores para poder vaciar la cámara 302 con más rapidez lo hacen con dos bombas centrífugas, saturando los filtros o incluso no dejando que el agua residual sea purificada de forma correcta, necesitando definir la forma de trabajo o realizar mejoras al sistema.

2.7.3 Análisis elemento crítico: Analizadores

Para el analizador OCD CDW el número RPN es el más alto de todos los activos debido a este valor y en base al alto costo de mantenimiento del activo, la frecuencia de las fallas y la mala manipulación operacional es necesario definir si realmente es factible la opción de reemplazar el analizador o eliminarlo y solo depender de un analizador (TD4100).

Para el analizador TD4100, su falla más recurrente es la medición errónea de los ppm, esto ocurre por la falta de mantenimiento preventivo y la limpieza de los sensores o toma de muestra, mantenimiento que fácilmente el mecánico de planta puede realizar. En base a lo anterior es que se incluirá en el plan de mantenimiento previo a la factibilidad de si el sensor será reemplazado o no.

CAPÍTULO 3: PLAN DE MANTENIMIENTO, MEJORAS Y FACTIBILIDAD
ECONOMICA.

3. ANÁLISIS ANALIZADORES PLANTA EFLUENTES

En base a los manuales de los analizadores entregados por el personal que realizaron la aplicación en el proceso de la planta efluentes y estudios de operación por parte de personal Copec, se concluye que el analizador RIVERTRACE OCD CW no se considera adecuado para la finalidad de censar.

Este tipo de analizadores genera falsas señales de hidrocarburos o no genere señales de hidrocarburo, esto se debe que a la presencia de partículas en las corrientes analizadas pueden hacer que se disperse parte de la luz, pero que ante pequeñas gotas de hidrocarburos no dispersen el haz de luz y por lo tanto, no generen la señal de hidrocarburo.

Precisamente esto es lo que ha ocurrido muchas veces, se realizó una prueba en la cual se ha introducido diversas concentraciones de diésel en agua y el equipo no ha marcado ninguna señal, llevando todo su trabajo y control el segundo analizador TD4100

Por lo anterior y como medida de mejora este será eliminado del circuito de analizadores, siendo totalmente suplido por el segundo control analizador TD4100 que detecta hidrocarburos aromáticos en agua mediante la fluorometría en combinación con una celda de flujo patentada.

La fluorometría es un método que se puede utilizar para detectar hidrocarburos, se basa en la emisión de fluorescencia que se produce cuando una muestra es reflejada con luz ultravioleta.

Los hidrocarburos aromáticos son fluorescentes, es decir al ser expuestos a luz en una longitud de onda determinada la absorben e instantáneamente emiten luz con longitud de onda mayor, el hidrocarburo es detectado independientemente de la poca cantidad que se esté analizando.

Es relevante señalar que no todos los hidrocarburos o mezclas son aromáticos, pero si existen hidrocarburos aromáticos en casi todos los productos derivados del petróleo no refinados y refinados, siendo esta categoría los combustibles y productos con los cuales trabaja y almacena Copec.

Como aspecto positivo a esta medida de eliminar el analizador OCD CW es que el analizador TD4100 tiene una sensibilidad intrínseca de 100 a 1000 veces mayor que el método de detección antes mencionado. Tiene una alta efectividad por ajuste óptico de “hidrocarburos específicos” minimizando las interferencias químicas y las falsas alarmas por la turbidez de la muestra y bajo mantenimiento y calibración debido a la celda de flujo y diseño del analizador ya que este tiene solo una parte móvil.

No obstante, es fundamental realizar un correcto proceso de calibración de equipo e incluirlo al nuevo plan de mantenimiento para obtener una correcta trazabilidad y proporcionalidad de la medida entre los hidrocarburos aromáticos, frente a los hidrocarburos totales para asegurar que la concentración entre ambos permanezca constante en la muestra.

3.1 METODOLOGIAS PARA CREAR UN PLAN DE MANTENIMIENTO:

En la búsqueda de crear un plan de mantenimiento es necesario utilizar herramientas teóricas y prácticas para poder realizar un plan que se ajuste en gran medida a la situación que se está desarrollando en la planta TPI, de esta forma Copec gestiona el mantenimiento a través del Software Fractal. En esta misma plataforma es que contiene diversas guías aplicables para poder desarrollar diversos temas relacionados al mantenimiento y gestión de activos.

En una primera instancia se define los mantenimientos que se aplican en Copec, los paso a paso para realizar el plan de mantenimiento, la creación propiamente tal, las mejoras al proceso de la planta de efluentes y por último la factibilidad económica tanto del plan como de las mejoras.

3.1.1 Definición Mantenimiento:

“Proceso que tiene como misión lograr los niveles establecidos de disponibilidad para las funciones de la instalación en su contexto operativo, valiéndose de talentos humanos, recursos, activos, controles y mecanismos de gestión, y satisfaciendo los niveles de producción / Servicio comprometidos por la organización durante un determinado horizonte de tiempo con los estándares de seguridad vigentes y sin incurrir en gastos que no contribuyan con el sostenimiento de las condiciones anteriores (Pistarelli)”.

3.1.2 Definición Disponibilidad operacional:

Criterio aplicado que mide la frecuencia con la que un activo funciona en comparación con la frecuencia con la que debería funcionar.

3.1.3 Tipos de mantenimiento:

Mantenimiento correctivo: Tareas no programadas, se realiza cuando la falla se presenta en el activo, la frecuencia en la que ocurre es variada y dependen de múltiples factores. Con gran frecuencia este mantenimiento es costoso ya sea en los repuestos, insumos, pérdidas en la producción o tiempo de espera.

Mantenimiento preventivo: Tareas planificadas según estudios previos se realiza mantenciones programadas para reemplazar componentes antes de que fallen y se tenga que aplicar un mantenimiento correctivo. Con el fin de maximizar la vida útil del componente se debe realizar estudios y análisis de costo, de modo que los costos de las mantenciones deben ser menores al reemplazo total del activo.

Mantenimiento predictivo: Este tipo de mantenimiento se basa en síntomas o señales que aproximen una falla o deterioro del activo o componente. Se aplican diversos análisis o técnicas para determinar el comportamiento del activo de las cuales se observan variables tales; presión, temperatura, vibraciones, ruidos, flujo, etc. Se utiliza mayoritariamente para activos costosos o cuyas mantenciones correctivas generaría un alto costo.

Mantenimiento proactivo: Es una extensión del mantenimiento predictivo agregándole análisis de falla, el cual define la causa que originó el comportamiento del componente o activo. Algunas de las herramientas utilizadas son; Mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM), Análisis causa raíz (RCA), Análisis de modos, efectos y criticidad de falla (FMECA), entre otros.

Mantenimiento imperativo o legal: Mantenimiento solicitado por leyes que fueron reguladas por el gobierno dado que las fallas asociadas al activo o sistema pueden tener consecuencias para la seguridad de las personas, medio ambiental o comunitarias.

En los activos de la planta de afluentes se aplica un mantenimiento preventivo básico basado en rutinas del mantenimiento, pero este no es completo ni acorde al tipo de manipulación, al requerimiento y climas que se asocia estar a orilla de playa. Por otro lado, lo regula un plan de mantenimiento imperativo normado por el decreto supremo 150, el cual se aplica, pero es básico y no acorde como se mencionó anteriormente.

El siguiente plan de mantenimiento será una mejora al actual y se basará en el mantenimiento preventivo que constará en los pilares básico del mantenimiento preventivo:

- Levantamiento de información y reemplazo de equipos que se encuentran en falla.
- Rutinas de inspecciones y chequeo periódicos.
- Limpieza, ajuste y lubricación.
- Calibración.
- Documentación de lo realizado.

Los beneficios que le aportara al sistema de efluentes es aumentar la disponibilidad de los equipos al momento de poder operar la planta en condiciones buenas de ventilación, minimizar las averías imprevistas y costosas, mejorar la calidad de filtración del agua, disminución del riesgo para el personal y comunidades aledañas y por último disminuir el impacto ambiental que conlleva procesar aguas con hidrocarburos.

3.2 METODOLOGIA PARA CREAR UN PLAN DE MANTENIMIENTO:

En las secciones anteriores se menciona que el software actual a nivel nacional de Copec es Fractal, por lo que a través de sus guías y procedimientos; señala los pasos a pasos para poder crear un plan de mantenimiento.

A continuación, se detallan los pasos para crear un plan de mantenimiento, a su vez en cada paso a paso se ejemplificará con la situación que tiene TPI.

3.2.1 Establecer objetivos:

Describe las metas que se espera alcanzar con el plan de mantenimiento en la cual tiene directa relación con los costos, tiempos de espera, disminución de fallas, entre otros.

Para este plan de mantenimiento el objetivo principal es minimizar las fallas que se puedan originar en el pronóstico de ventilación buena, ya que las horas que se puede trabajar la planta de efluentes dependerá directamente de la condición buena de ventilación, y que son las mínimas.

3.2.2 Definir indicadores de desempeño:

Conocer el desempeño y rendimiento del plan de mantenimiento es indispensable establecer indicadores o KPI, Algunos KPI's son:

- Tiempo medio entre fallas (MTBF): Es un indicador de confiabilidad y tasa de fallos aleatorios, son registrados en alguna plataforma para realizar el análisis correspondiente.
- Tiempo medio de reparación (MTTR): Es el resultado de la división entre el tiempo que se tardó en reparar el activo entre el número de fallos producidos en un tiempo determinado.
- Porcentaje de mantenimiento planificado (PMP): Indicador que relaciona el tiempo dedicado a las actividades programadas por activos definidos, se puede filtrar por todos los activos o por un activo en específico.

Para el caso de efluentes se aplicarán todos los KPI's descritos anteriormente, mediante el registro de los datos de la ordenes de trabajo y los tiempos correspondientes, mientras que Fractal crea en una de las pestañas del programa el porcentaje de fallas por activo, por tipo de mantenimiento y estado en el cual se encuentra.

3.2.3 Inventario de los activos:

Después de revisar los KPI's, es importante definir los activos que se encuentran en la planta de aguas residuales y clasificarlos por sistemas.

Dentro de cada activo es necesario contabilizar diversas informaciones o características. Algunas más importantes son:

- Marca/fabricante.
- Recomendaciones del fabricante.
- Datos de sus fallas y/o últimos mantenimientos.
- Plazos de garantía del activo.
- Criticidad del activo.
- Requisitos legales.

El inventario de activos para este caso investigativo es descrito en el capítulo 1 Sin embargo, es necesario identificarlos en esta parte de la creación del plan de mantenimiento:

Circuito Coalescedor:

- Bomba tornillo 1.
- Bomba tornillo 2.
- Maquina coalescedora.

Circuito DAF (Sistema de flotación por aire disuelto)

- Bomba multi-etapa
- DAF.

Circuito cámara 302 a filtros:

- Bomba centrífuga A.
- Bomba centrífuga B.
- Filtros de carbón y arcilla

Circuito de sensores:

- Válvula de compuerta a emisario.
- Analizador OCD CW.
- Analizador TD4100.
- Bomba toma de muestra.

Se puede crear un listado jerárquico que ayude a conocer que equipos requieran atención especial. Esta parte es fundamental para establecer los periodos propios del mantenimiento o énfasis según su criticidad.

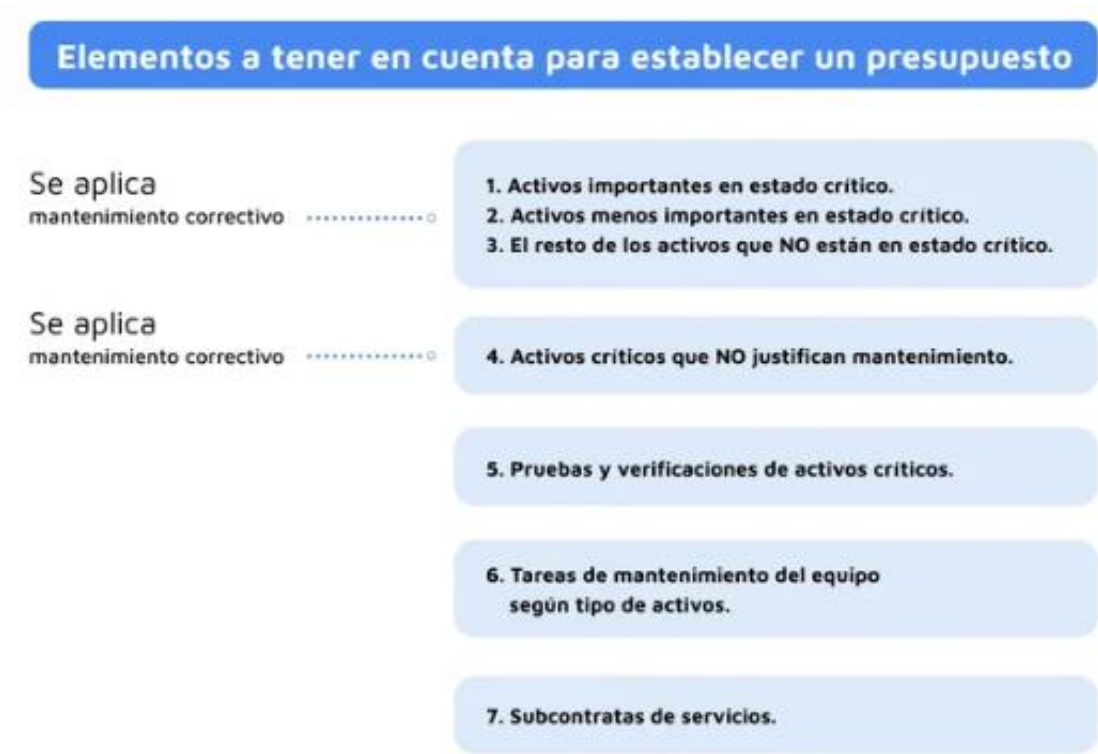
En el capítulo anterior se creó la jerarquización de activos los cuales fueron las bombas centrifugas, la batería de filtros y los analizadores los más críticos de la planta de efluentes.

3.2.4 Establecer un presupuesto:

Al considerar los pasos para elaborar un plan de mantenimiento enfocado en el preventivo, es necesario analizar los recursos con los que cuente la compañía versus los costes estimados

El versus de los costos es importante para poder concientizar el ahorro que se podría obtener versus una inversión en cuanto a insumos, repuestos, hora hombre, etc.

Los elementos a tener en cuenta para establecer un presupuesto (Figura 30)



Fuente: Guía técnica, Fractal.

Figura 30: Elementos a tener en cuenta para establecer un presupuesto.

Este presupuesto se realiza relacionando la información sobre nuestros objetivos y KPI's con el estado actual en el que se encuentran los activos.

- Los activos críticos y que afecten de forma directo a los objetivos del plan de mantenimiento, son sobre los que hay que realizar el mantenimiento preventivo urgente.
- Incluir las pruebas y verificaciones de los activos críticos y también esa parte en la que se realizara un mantenimiento correctivo programado a los activos críticos que no justifican una inversión en mantenimiento preventivo.
- Definir un porcentaje de distribución del presupuesto, algunos expertos aconsejan que se destine un 80% del presupuesto al mantenimiento de carácter preventivo y un 20% al correctivo.
- Detallar y clasificar que tareas o mantenimiento puede realizar el equipo de mantenimiento de planta o personal externo o pensar la posibilidad de incluir al personal de mantenimiento en cursos para aprender nuevas habilidades o técnicas del mantenimiento con el fin de proporcionar por si solos las tareas programadas. Algunas preguntas para desarrollar; ¿Hay algunos servicios que actualmente lo realice una empresa externa y que podría ser realizado por

personal planta? O ¿Los contratos con estas empresas externas te proporcionan toda la cobertura que se necesita?

3.2.5 Seleccionar herramientas para la planificación del mantenimiento:

Actualmente en el mercado existen diversas soluciones especializadas en la gestión del mantenimiento de activos, unas más complejas y eficiente que otras. Hay plataformas que solo ayudan a gestionar procesos sin embargo hay otras que realizar registros ya análisis de manera automática, sobre todo con las nuevas competencias e integración de la inteligencia artificial.

Una vez se tenga definido la información anterior se debe ingresar la información al software de gestión de mantenimiento, y a partir de ahí, disponer de la información digitalizada y mucho más accesible en solo un lugar, poder desarrollar análisis y resultados automáticos en base al plan de mantenimiento.

En este caso una herramienta para plasmar los tiempos de ejecución y las tareas a desarrollar será en base a Excel y para poder gestionar el plan de mantenimiento será el software Fractal.

3.2.6 Fomentar una cultura digital:

Al aplicar un software completo resulta vital concretar capacitaciones para insertar a los trabajadores de adaptarse a las nuevas tecnologías, es clave impulsar una cultura digital que permita a todos los miembros del equipo poder acceder a la información y gestionar su trabajo dentro de la plataforma de mantenimiento.

3.2.7 Revisar y optimizar:

Después de digitalizar toda la información en el software a utilizar es necesario tener un periodo de prueba en donde confirmar que todos los activos estén bien integrados junto con la información correcta para así comprobar fácilmente el estado y estadísticas de los activos.

Para esta etapa se pueden realizar las siguientes preguntas:

- ¿Hay algún activo que ha tenido un rendimiento inferior a lo esperado?
- ¿Es necesario implementar en el activo un mantenimiento preventivo?
- ¿Hay que implementar un cambio en la distribución de tareas y en la organización del equipo de mantenimiento?

- ¿El nivel de riesgo de cada activo se mantiene dentro de lo esperado?

3.3 **PLAN DE MANTENIMIENTO**

El actual plan de mantenimiento que rige la planta de efluentes está basado en planes anuales del terminal marítimo de Copec, lo cual desencadena el no tener tareas del mantenimiento personalidad, provocando fallas que se pueden mitigar fácilmente.

A continuación, se detalla plan de mantenimiento personalizado por circuito, en los activos críticos se detallará las pautas de inspecciones para poder tener un mayor control.

3.3.1 Plan de mantenimiento bomba centrífuga: (Tabla 18)

PLAN DE MANTENIMIENTO			
Nombre del equipo	Bomba centrífuga	Ubicación	Planta Efluentes - cámara 302
Identificación	1456	Revisión	
Tareas propuestas		Frecuencia	Responsable
Inspección de nivel de aceíta		Cada vez que se opere	Operadores/mecánico
Inspección de funcionamiento		Cada vez que se opere	Operadores/mecánico
Inspección de aceite, agregar si es necesario		Semanal	Mecánico
Inspección de componentes mecánicos		Semanal	Mecánico
Inspección de componentes eléctricos		Semanal	Mecánico
Limpieza de filtros		Semanal	Mecánico
Inspección de sellos y juntas mecánicas		Mensual	Mecánico
Inspección de válvulas aledañas		Mensual	Mecánico
Inspección de cañerías suministradoras		Mensual	Mecánico
Inspección de cañerías salida		Mensual	Mecánico
Aplicación de pintura anticorrosiva		Anual	Personal externo
Limpieza interior cañerías suministradoras		Anual	Personal externo
Limpieza interior cañerías salida		Anual	Personal externo
Calibración y certificación de manómetro		Anual	Personal externo

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18: Plan de mantenimiento bomba centrífuga

Adicional al plan de mantenimiento se crea un formato de inspección universal para tener registro de y detalle de la inspección, el registro se debe subir a Fractal para la documentación y respaldo de la inspección. Aquel documento será incluido en los análisis y entregados a personal externo para generar estadísticas cuando se deba realizar la mantención anual. (Tabla 19)

Registro de inspección bomba centrífuga									
Equipo					Fecha de inspección				
Identificación					Responsable				
Partes	Estado				Partes	Estado			
	B	R	M	N/A		B	R	M	N/A
Filtraciones					Estado válvulas				
Sello					Nivel aceite bomba				
Estado manómetro					Perdidas o fuga de aceite				
Estructura					Perdidas o fuga de agua				
Presión de trabajo					Estado marcador de aceite				
Estado perno fijación					Estado parada de emergencia				
Otros:					Estado botonera				

Parámetros prueba del activo	
Presión	
Temperatura de la bomba	
Voltaje alternador	

Observaciones:

Firma del inspector

Fuente: Creación propia

Tabla 19: Registro de inspección bomba centrífuga

3.3.2 Plan de mantenimiento circuito DAF: (Tabla 20)

PLAN DE MANTENIMIENTO			
Nombre del equipo	Equipo Daff	Ubicación	Planta Efluentes - cámara 300
Identificación	1478	Revisión	
Tareas propuestas		Frecuencia	Responsable
Inspección de nivel de aceite		Cada vez que se opere	Operadores/mecánico
Inspección de funcionamiento		Cada vez que se opere	Operadores/mecánico
Inspección de aceite, agregar si es necesario		Semanal	Mecánico
Inspección de componentes mecánicos		Semanal	Mecánico
Inspección de componentes eléctricos		Semanal	Mecánico
Limpieza interna y externa con agua alta presión		Trimestral	Mecánico
Limpieza mecánica interna y externa		Trimestral	Mecánico
Aplicación de pintura epóxica interna y externa		Anual	Mecánico
Aplicación de pintura corrosiva interna y externa		Anual	Mecánico
Reemplazo de descansos		Anual	Mecánico
Cambio de rodillos de arrastre		Anual	Personal externo
Cambio de rodamientos		Anual	Personal externo
Revisión y limpieza de poleas		Anual	Personal externo
Cambio de cadenas y piñones		Anual	Personal externo
Cambio de goma de arrastre		Trimestral	Mecánico

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20: Plan de mantenimiento circuito DAF

3.3.3 Plan de mantenimiento circuito batería de filtros: (Tabla 21)

PLAN DE MANTENIMIENTO			
Nombre del equipo	Batería de filtros	Ubicación	Planta Efluentes - cámara 302
Identificación	1459	Revisión	
Tareas propuestas		Frecuencia	Responsable
Mantener los alrededores libre de desperdicios		Diario	Operadores/mecánico
Inspección del buen funcionamiento		Cada vez que se opere	Operadores/mecánico
Verificar posición correcta de las válvulas		Cada vez que se opere	Mecánico
Verificar los diferenciales de presión		Cada vez que se opere	Mecánico
Realizar retrolavado		Mensual	Operadores/mecánico
Verificar líneas hidráulicas de fugas o corrosión		Semanal	Mecánico
Limpieza interna y externa con agua alta presión		Trimestral	Mecánico
Apertura e inspección		Anual	Personal externa
Limpieza mecánica exterior		Anual	Personal externa
Apliación de pintura anticorrosiva en zona dañadas		Anual	Personal externa
Apliacióm de pintura epóxica externa		Anual	Personal externa
Cambio de 2 manómetros		Anual	Personal externa

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21: Plan de mantenimiento circuito batería de filtros

3.3.4 Plan de mantenimiento circuito coalescedores: (Tabla 22)

PLAN DE MANTENIMIENTO			
Nombre del equipo	Circuito coalescedores	Ubicación	Planta Efluentes - aledaño al Daff
Identificación	1452	Revisión	
Tareas propuestas		Frecuencia	Responsable
Mantener los alrededores libre de desperdicios		Diario	Operadores/mecánico
Inspección del buen funcionamiento		Cada vez que se opere	Operadores/mecánico
Verificar posición correcta de las válvulas		Cada vez que se opere	Operadores/mecánico
Llenado de productos del tratamiento fisico-químico		Mensual	Operadores/mecánico
Reemplazo de tubing se succión		Mensual	Mecánico
Reemplazo de tubing de inyección		Mensual	Mecánico
Reemplazo de válvula de succión y descarga		Anual	Mecánico
Mantenimiento básico en bombas dosificadoras		Anual	Personal externa
Limpieza válvula de pvc 3/8"		Anual	Personal externa
Limpieza estanque de productos químicos		Anual	Personal externa
Reemplazo de cabezal bomba dosificadoras		Anual	Personal externa

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22: Plan de mantenimiento circuito coalescedores

3.3.5 Plan de mantenimiento circuito analizador (Tabla 23)

PLAN DE MANTENIMIENTO			
Nombre del equipo	Circuito analizadores	Ubicación	Caseta analizadores
Identificación	1444	Revisión	
Tareas propuestas		Frecuencia	Responsable
Asegurar que las ventanas de los filtros de excitación y emisión estén libres de partículas, humedad y película residual		Cada vez que se opere	Jefe de turno
Asegurar que el flujo de caída libre en la célula es uniforme		Mensual	Mecánico
Comprobar el desecante en buenas condiciones		Mensual	Mecánico
Comprobar el flujo y la presión del aire de la cortina		Mensual	Mecánico
Inspeccione todas las mangueras y conexiones de tuberías		Mensual	Mecánico
Inspeccione las líneas de muestreo y la trampa de burbujas para asegurarse de que este libre de suciedad		Mensual	Mecánico
Limpieza de la sonda de toma de muestras, usando una gaveta o escobilla suministrada		Trimestral	Mecánico
Reemplazo de la lámpara		Semestral	Personal externa
Calibración de analizadores		Semestral	Personal externa
Reemplazo de filtro de aire de carbón activo		Semestral	Personal externa
Limpieza de trazado neumático desde la toma de muestra hasta el flujómetro		Anual	Personal externa
Limpieza del flujómetro		Anual	Personal externa
Limpieza de conduit hasta el caudalímetro		Anual	Personal externa
Limpieza de mangueras desde caudalímetro hasta la cámara de media del analizador		Anual	Personal externa
Limpieza del sistema de desitribución de tuberías de pvc		Anual	Personal externa
Reemplazar filtros ópticos y lámpara		Cada 4 años	Personal externa
Reemplazo de filtro de emisión		Cada 4 años	Personal externa
Reemplazo de la ventana de filtro de excitación		Cada 4 años	Personal externa

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23: Plan de mantenimiento circuito analizador

Al ser un activo critico se crea un stock de repuesto, puesto que hay mantenimientos que ahora el mecánico de planta lo podrá realizar sin la necesidad de recurrir a la empresa contratista.

Kit de repuestos para 2 años de operación compuesto por:

- 2 unidades de Black Viton Gasket
- 2 unidades de Lam Housing Cover
- 4 unidades de Clear Quartz Mercury

- 1 unidad de Pocket Clip
- 1 unidad de desiccant
- 4 unidades de cotton cleaning
- 1 unidad de 2 A, 250 VAC Glass Fuse
- 1 unidad de 3AG, ¾ AMP 250V Fuse
- 1 unidad de 3mm & 5mm Cuvettes Brush
- 1 unidad de 1/4" Diameter Clean Out Brush
- 1 unidad de 2" Diameter Clean Out Brush
- 1 unidad de Pocket Clip Screwdriver
- 1 unidad de Cotton Cleaning Swabs W/O Adhesive
- 1 unidad de Bag of 100 ea.
- 1 unidad de Polyethylene Squeeze Washbottle
- 1 unidad de Desiccant Plug, Pkg. 4
- 1 unidad de Calibration Bottle Kit
- 2 unidad de Calibration Valve, TD4100

3.4 DIGITALIZACIÓN EN FRACTTAL

Uno de los pasos a seguir para la creación del plan de mantenimiento es tener una herramienta de gestión para poder digitalizar sus procedimientos, tareas de mantenimiento y generar estadísticas y/o análisis de los datos documentado.

En el caso de Copec, especialmente en la planta TPI, se evidenciaba una desactualización general de todos los planes de mantenimiento, no solo los correspondientes a la planta efluentes. A lo largo de la investigación se actualizaron diversos aspectos importantes para realizar un levantamiento real de la información y futuras mejoras.

3.4.1 Glosario de Fracttal:

A continuación, se desarrolló un glosario enfocado a las definiciones que más frecuentemente se ocuparan en Fracttal, con el fin de entender de mejor manera el software de mantenimiento.

- Activo: Elementos de una propiedad que contribuyen el valor neto o al patrimonio de una organización.
- Árbol de activos: Índice organizado de equipos, maquinarias y componentes que se relacionan entre sí.

- Backlog: Lista de trabajos de mantenimiento pendientes por realizar.
- Control de inventario: Gestión eficiente de repuestos y materiales de mantenimiento.
- Data Logging: Registro y almacenamiento de datos relacionados con el funcionamiento y el estado de los activos para su análisis.
- Degradación: Pérdida gradual de la capacidad de un activo para funcionar a su nivel óptimo debido al envejecimiento o desgaste.
- Diagrama Gantt: Herramienta visual para planificar y programar proyectos de mantenimiento.
- Disponibilidad: Medida de cuánto tiempo un activo o sistema está listo y en condiciones de funcionar sin interrupciones.
- Indicador de mantenimiento: Parámetro o medida utilizada para evaluar el rendimiento y la eficacia de las actividades de mantenimiento en un activo o sistema.
- Key performance indicator (KPI): Indicador clave de rendimiento, es una métrica o medida utilizada para evaluar el desempeño de una organización.
- Outsourcing de mantenimiento: Subcontratación de servicios de mantenimiento a terceros, como empresas especializadas, para llevar a cabo tareas de mantenimiento específico.
- Ots en proceso: Ordenes de trabajo programadas que se encuentran en el proceso de llenado de información por parte de mecánico o personal externo.
- Ots en revisión: Ordenes de trabajo ya realizadas y rellenas que se encuentran a la espera de que el planificador o jefe operacional sean revisadas, esperando que si se encuentre alguna observación se deba realizar alguna acción correctiva.
- Ots finalizadas: Ordenes de trabajo que ya fueron revisadas y aprobadas por el planificador o supervisor operacional.
- Tarea de mantenimiento: Acción o actividad específica que se realiza en el marco de un plan de mantenimiento para mantener, reparar o inspeccionar un activo.
- Trazabilidad de activos: Procesar de rastrear y documentar el historial completo de un activo, incluyendo su adquisición, mantenimiento, reparaciones y cualquier otra actividad relevante a lo largo de su ciclo de vida.

3.4.2 Creación planta de efluentes:

En Fracttal se crean localizaciones para luego crear los activos y poder filtrar desde lo general a lo particular. Así es que se crea la localización “Planta efluentes”, a su misma vez se crean los planes de tarea asociado a cada activo de la planta de efluentes. (Figura 31)

Fuente: <https://app.fracttal.com/inventories/>

Figura 31: Localización en Fracttal planta efluentes.

← PLANTA DE EFLUENTES (TQU.LOC 0119)

Fuente de servicio: No

Habilitado

General

Formulario Personalizado

Estado de Salud

Terceros

Repuestos y Suministros

Historiales

Adjuntos

Gestión Documental

Tareas

Recursos

Disponibilidad

Lecturas

	Orden de Trabajo	Estado	Descripción	Tipo de Tarea	Fecha Programada	Fecha Calculada	Fecha de Realización	Cla
☐	OT46433COPEC	En Proceso	MANTENCION MENSUAL TK ENTERRADOS PLANTA EFLUENTE	PREVENTIVO	2025-04-12	2025-04-12	—	Mi
☐	OT46296COPEC	Finalizadas	PRUEBA SEMANAL PLANTA TRATAMIENTO DE EFLUENTES	PREVENTIVO	2025-03-28	2025-03-28	2025-03-30	Mi
☐	OT46295COPEC	Finalizadas	PRUEBA SEMANAL PLANTA TRATAMIENTO DE EFLUENTES	PREVENTIVO	2025-03-20	2025-03-20	2025-03-21	Mi
☐	OT45885COPEC	Finalizadas	MANTENCION MENSUAL TK ENTERRADOS PLANTA EFLUENTE	PREVENTIVO	2025-03-11	2025-03-11	2025-03-12	Mi
☐	OT46294COPEC	Finalizadas	PRUEBA SEMANAL PLANTA TRATAMIENTO DE EFLUENTES	PREVENTIVO	2025-03-11	2025-03-11	2025-03-13	Mi
☐	OT46410COPEC	En Proceso	MANTENCION TRIMESTRAL ELEMENTOS CAMARA PLANTA EFLUENTE	PREVENTIVO	2025-03-09	2025-03-09	—	Mi
☐	OT46293COPEC	Finalizadas	PRUEBA SEMANAL PLANTA TRATAMIENTO DE EFLUENTES	PREVENTIVO	2025-03-04	2025-03-04	2025-03-04	Mi
☐	OT46292COPEC	Finalizadas	PRUEBA SEMANAL PLANTA TRATAMIENTO DE EFLUENTES	PREVENTIVO	2025-02-24	2025-02-24	2025-02-25	Mi
☐	OT45093COPEC	Finalizadas	MANTENCION MENSUAL TK ENTERRADOS PLANTA EFLUENTE	PREVENTIVO	2025-02-20	2025-02-20	2025-02-11	Mi
☐	OT46270COPEC	Finalizadas	PRUEBA SEMANAL PLANTA TRATAMIENTO DE EFLUENTES	PREVENTIVO	2025-02-18	2025-02-18	2025-02-17	Mi

Mostrando 45 de 45

3.4.3 Planes de tarea:

Para cada periodo de mantenimiento se crearon planes de tarea con sus diversas subtareas, aquellas tareas son descritas con su paso a paso pudiendo adjuntar fotografías, videos, archivos y documentos asociados a la tarea, teniendo un completo registro. Cada Orden de trabajo realizado debe ser firmado por la persona que lo ejecuto, el técnico que reviso si había alguna observación en la tarea realizada y por último un ingeniero que finaliza las ordenes de trabajo pudiendo dar fin y confirmar que en base a la mantención realizada no se requiere de ninguna otra acción a realizar. (Figura 32)



CÍA. DE PETROLEOS DE CHILE COPEC S.A.

Orden de Trabajo

N°: OT46296COPEC

Fecha: 2025-03-31

Calificación:

GENERÓ: Mayra González

DURACIÓN ESTIMADA: 00:10:00

RESPONSABLE: Mayra González

NOTA \$:

ACTIVOS

DESCRIPCIÓN: PLANTA DE EFLUENTES (TQU.LOC-0119)

UBICADO EN O ES PARTE DE: // COPEC/ PLANTAS DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE/ TPI QUINTERO/ COMPLEMENTARIOS/

TIPO: SEPARADOR EFLUENTES

PRIORIDAD:

CÓDIGO DE BARRAS / NFC:

CLASIFICACIÓN 1:

CLASIFICACIÓN 2:

CENTRO DE COSTO: CPO12270 (Planta TPI)

TAREAS PLANIFICADAS

DESCRIPCIÓN: PRUEBA SEMANAL PLANTA TRATAMIENTO DE EFLUENTES

FECHA PROGRAMADA: 2025-03-28

TIPO DE TAREA: PREVENTIVO

PRIORIDAD: Media

ACTIVADOR: Fecha Cada 1 Semana(s)

CLASIFICACIÓN 1: MANTENIMIENTO PLANTA

CLASIFICACIÓN 2: PLANTA

FECHA Y HORA DE INICIO: 2025-03-30 11:00

FECHA Y HORA DE FINALIZACIÓN: 2025-03-30 11:15

DURACIÓN ESTIMADA: 00:10:00

TIEMPO DE EJECUCIÓN: 00:15:00

TIEMPO REAL DE PARO DEL ACTIVO: 00:00:00

SUBTAREAS

PLANTA	Verificar operación de la planta (instrumentos y equipos deben estar operativos)	☒ Aprobó ☐ Alerta ☐ Falló
PLANTA	Verificar que HC no sobrepasen el máximo permitido.	☒ Aprobó ☐ Alerta ☐ Falló
PLANTA	Registrar el nivel de HC	{{LITROS LTRS} 16}
PLANTA	Observaciones	sin observaciones

Fuente: <https://app.fracttal.com/inventories/>

Figura 32: Orden de trabajo prueba semanal, planta efluentes.

3.4.4 Creación de personal planta:

Para que un plan de tareas pueda ser digitalizada es necesario agregar el personal que ejecuta la orden de trabajo, quien la revisa y finaliza. En Fracttal se crea una lista con el recurso humano de la planta, la lista estaba totalmente desactualizada esto implica la implementación de una actualización con personal activo de Copec también, agregar los cargos y las facultades para realizar en Fracttal, si bien es ciertos todos tienen usuarios en Fracttal, solo personal especializado tendrá acceso a modificar, planificar y eliminar información. (Figura 33)

Recursos Humanos

Buscar...

☐	Habilitado	Teams	Cuenta	Código	Nombres	Apellidos	Clasificación 1	Clasificación 2	Email
☐	No	No	Si		Ariel	Hernández	SUPERVISOR		ahernandezy@copec.cl
☐	Si	No	No	123	Cristian	Sanchez	OPERADOR		csanchez@copec.cl
☐	Si	No	No	13.950.603-0	Edgardo	Villalobos			evillalobos@copec.cl
☐	Si	No	No		Eduardo	Fredes	JEFE DE TURNO		efredes@copec.cl
☐	Si	No	No	25.562.431-8	Jahir	Pérez	JEFE DE TURNO		jperez@copec.cl
☐	Si	No	Si		Marco	Jara	JEFE DE TURNO		mjara@copec.cl
☐	Si	No	Si	15.096.040-1	Mario	Beiza	MECANICO		mbeiza@copec.cl
☐	Si	No	No	19394883-9	Matias	Lavanderos	JEFE DE TURNO		mlavanderos@copec.cl
☐	Si	No	Si		Mayra	González	PLANIFICADOR		mpgonzalez@copec.cl
☐	Si	No	No	14.430.317-2	Pedro	Aravena	OPERADOR		paravena@copec.cl

Fuente: <https://app.fracttal.com/inventories/>

Figura 33: Lista de recurso humano en Fracttal

3.4.5 Creación de personal externo de mantenimiento:

La creación de personal externo de mantenimiento que se encuentra en Fracttal cumple la función de que a personal externo puedo subir sus informes y rellenar las ordenes de trabajo planificadas, anteriormente el mecánico de planta realizaba esta gestión sin embargo dedicaba del tiempo que debía estar en mantenimiento en rellenar información que no era de su responsabilidad.

Por la anterior razón se actualiza la lista de proveedores y personal externo con el fin de volver a responsabilizar a los externos de subir y rellenar las ordenes de trabajo, este punto está incluido en el contrato ya que en un porcentaje menor lo realizaba. (Figura 34)

☐	Habilitado	Nombre	Código	Email	Página Web	Dirección	Ciudad
☐	Si	AGENTAL	80.010.900-0		https://agental.cl/	Av. Vitacura 2939, Piso 20, Edificio Milleniu...	Santiago
☐	Si	AGUASIN SPA	76.377.649-2	NSAGREDO@AGUASIN.COM		PANAMERICANA NORTE N° 18900, SITIOS ...	Santiago
☐	Si	ALFRA INGENIERÍA INDUSTRIAL	77.544.530-0	jccuello@alfraingenieria.cl			
☐	Si	APRO	86.887.200-4				
☐	Si	ASESORIAS TECNICAS Y MANTENCION LIMITADA	76.025.533-5	mantencion@asesoriastecn...	http://www.asesoriastecnicas.com/	Calle Santa Maria No 171 Villa Patrona de C...	Santiago
☐	Si	CALINSE	77.022.766-6	calinse@calinse.cl	https://www.calinse.cl/	Luis Alarcón N55 11-09 Valle Araucarias	Buín
☐	Si	CANIS MAJORIS	764183185	morellana@cmajoris.cl		Av. Capitán Ramón Freire n° 377	Rancagua
☐	Si	CASTILLO DEL TORO	76.221.211-0				
☐	Si	COMERCIAL E INDUSTRIAL INQUINAT CHILE LIMITADA	78.931.720-8				
☐	Si	CONSTRUCTORA G Y G	76.824.369-7				
☐	Si	CORP. TÉCNICA DE FLUIDOS S.A.	96.599.680-K	info@tecfluid.cl	https://www.tecfluid.cl/	AV. LA MONTAÑA 58 LOTE0 INDUSTRIAL L...	COLINA

Fuente: <https://app.fracttal.com/inventories/>

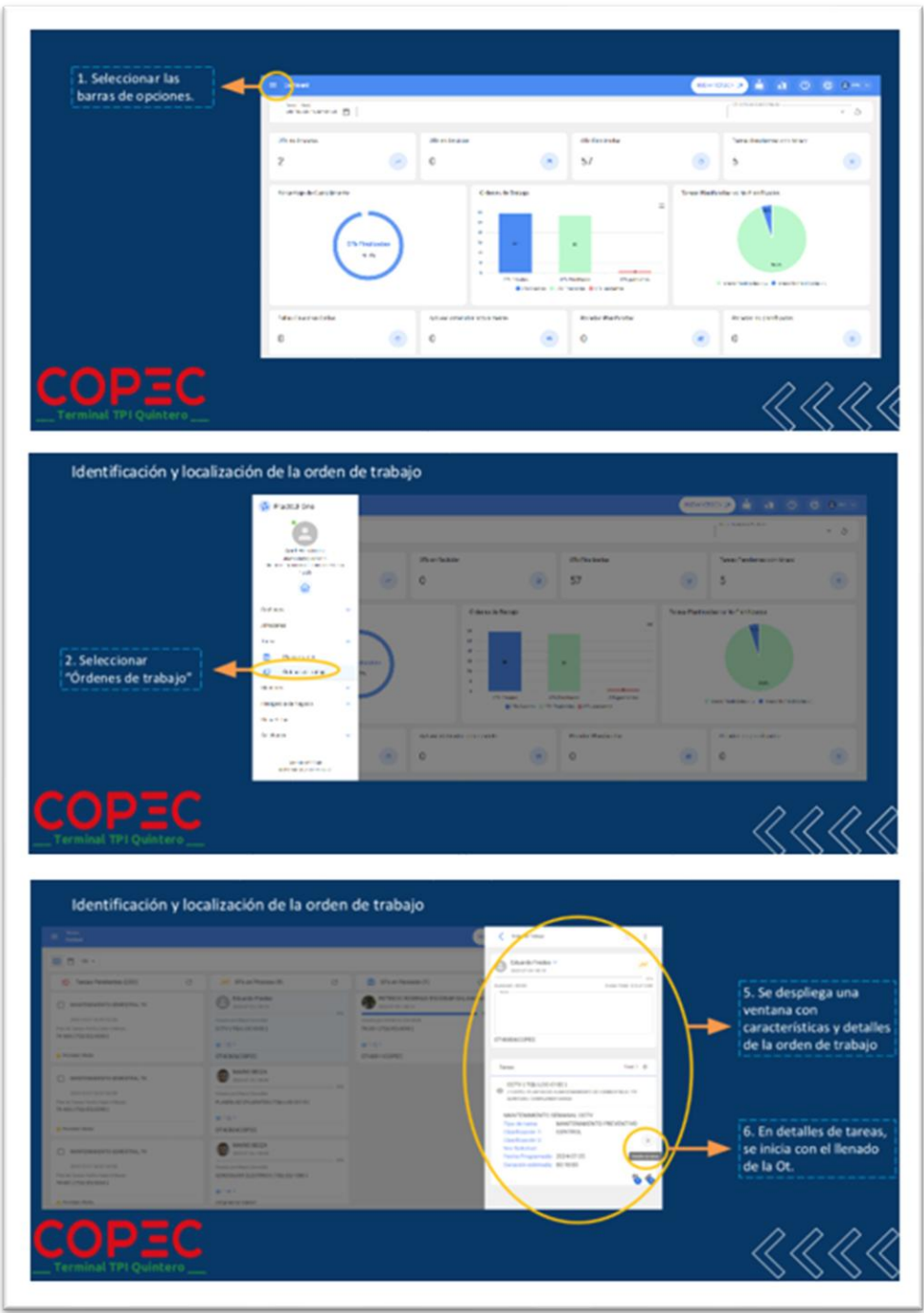
Figura 34: Lista de externo en Fracttal

3.4.6 Capacitación al personal:

Se define a cada personal el cargo y funciones que tendrá frente al software, se le instruye los procedimientos y el paso a paso para las diversas funciones.

- Jefe de planta: Aprueba presupuesto y administra los perfiles para agregar o quitar licencias según lo amerite
- Supervisor operacional: Verificar el cumplimiento de las ordenes de trabajo y plan de mantenimiento acordado.
- Planificador: Programar, revisar y finalizar ordenes de trabajo, actualizar y modificar cuentas para la correcta aplicación del software.

- Mecánico de planta: Carga de sus órdenes de trabajo y llenado una vez realice el trabajo en terreno. (Figura 35)



Fuente: <https://app.fracttal.com/inventories/>

Figura 35: Diapositiva para la creación ordenes de trabajo

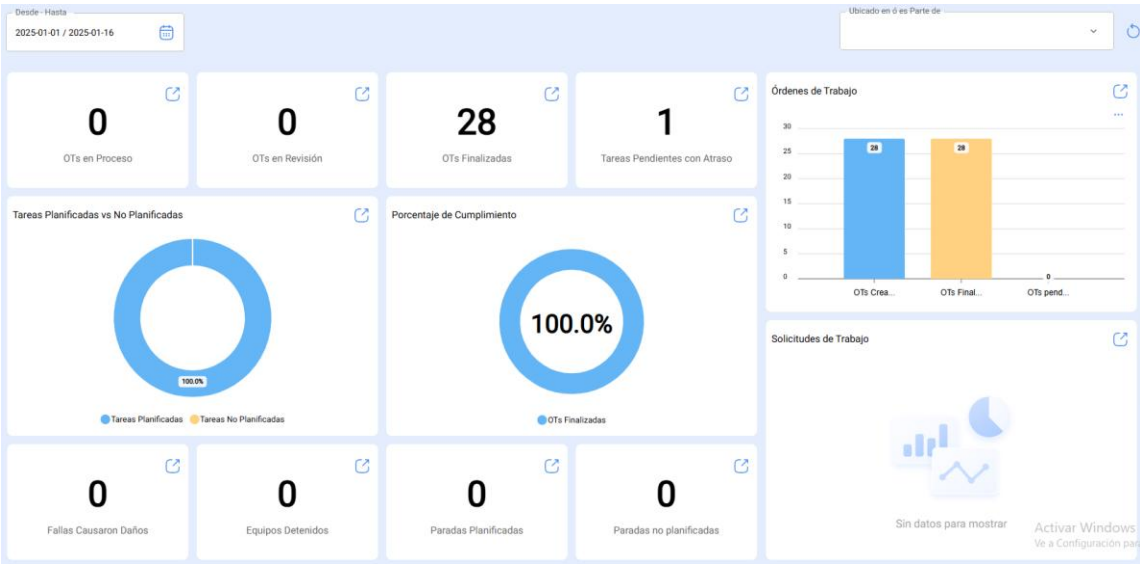
Adicionalmente se crea un instructivo para el llenado de órdenes de trabajo para que personal interno o externo pueda aplicarlo.

3.4.7 Aplicación de estadística en Fracttal:

En Fracttal se desarrollan múltiples estadísticas y gráficas dependiendo de la finalidad en la que se esté trabajando, para el caso de esta investigación las estadísticas se basaran en porcentaje de las ordenes de mantenimientos mensuales realizadas en la planta. Se fijan 4 indicadores que aportaran alertas al sistema de gestión del mantenimiento.

Los indicadores son: Ots en proceso, en revisión y finalizadas. En la pantalla de inicio de Fracttal se grafican los análisis y estadísticas.

Existe un indicador adicional llamada “*tareas pendientes con atraso*”, que contabiliza las tareas que estaban programadas para el mes pero que no se cargaron a un trabajador y en consecuencia no se realizó. (Figura 36)



Fuente: <https://app.fracttal.com/inventories/>

Figura 36: Índice de estadísticas, Fracttal

3.5 MEJORAS A LA PLANTA EFLUENTES

Las mejoras que se proponen a continuación son relacionadas a las mayores o más urgentes necesidades de TPI, en la lista de las prioridades la seguridad medio ambiental es el foco principal, ya que esta planta efluentes no solo está sometida a leyes a nivel nacional, sino que también leyes y normativas a nivel comunal, lo que provoca la participación constante de auditorías y revisión por parte de SMA (Superintendencia medio ambiental).

Una de las iniciativas claves es la eliminación de un analizador que no cumplía con los estándares exigidos por Copec ni con la normativa vigente, el cual obstaculizaba el proceso de tratamiento de aguas.

En segundo lugar, la mejora a proponer tiene directa relación con agregar otro activo en serie, que beneficia en la velocidad del proceso de la filtración de aguas residuales.

Finalmente, las mejoras operaciones, junto a la ejecución de mantenciones mensuales e inspecciones previas al inicio del funcionamiento de la planta efluentes, han contribuido a extender la vida útil de los equipos, aumentar la eficiencia operativa y reducir retrasos en la etapa de filtrado. Todo esto permite prevenir fallas y minimizar el riesgo de contaminación ambiental.

3.6 CAMBIO Y ELIMINACION DEL ANALIZADOR OCD CDW

3.6.1 Sustitución del analizador Rivertrace OCD CDW:

Como se ha ido exponiendo durante la presente investigación, el analizador OCD CW no se considera adecuado para la finalidad, por los motivos de arrojar falsos positivos o negativos, asimismo no se encuentra dentro de los límites de cumplimiento normativo vigente, es una tecnología desactualizada y con mantenimientos costos debido a la falta de repuestos.

En la actualidad el analizador Rivertrace se retira del circuito de analizadores dejando operativo el modelo TD 41000, supliendo de buena manera las funciones y homogeneizando las labores del mantenimiento. Ocupa un sistema más amigable con la operación de personal no especializado, pudiendo realizar sus mantenciones el personal interno de Copec, con una baja capacitación e interpretación de planos. Aportando con la gran ventaja de stock de repuestos y a bajo costo que se les atribuyen a mantenciones, pudiendo tener stock en la planta de hasta 2 años. (Figura 37)

Para las mantenciones que incluyan personal externo, para mantener stock en planta y realizar la calibración del sensor operante se nomina a empresa contratista INERCO la cual se encuentra en la lista de proveedores en Copec es decir, mantiene contratos vigentes y se accede a precios normados. (Figura 38)



Fuente: Planta TPI, Copec

Figura 37: Analizador Rivertrace OCD CDW



Fuente: Planta TPI, Copec

Figura 38: Analizador TD-41000

3.6.2 Sonda toma de muestra:

Se recomienda instalar una toma de muestra que posibilite realizar operaciones de mantenimiento y limpieza, sin tener que desmontar la misma, y que garantice que la toma de muestra se esté realizando de forma correcta, tomando la muestra en el centro de la tubería principal.

La toma de muestra actual se trata de un tubo de acero galvanizado sin elemento filtrante previo a la bomba peristáltica, lo que provoca la introducción de sólidos y elementos no deseados en la muestra. (Figura 39)

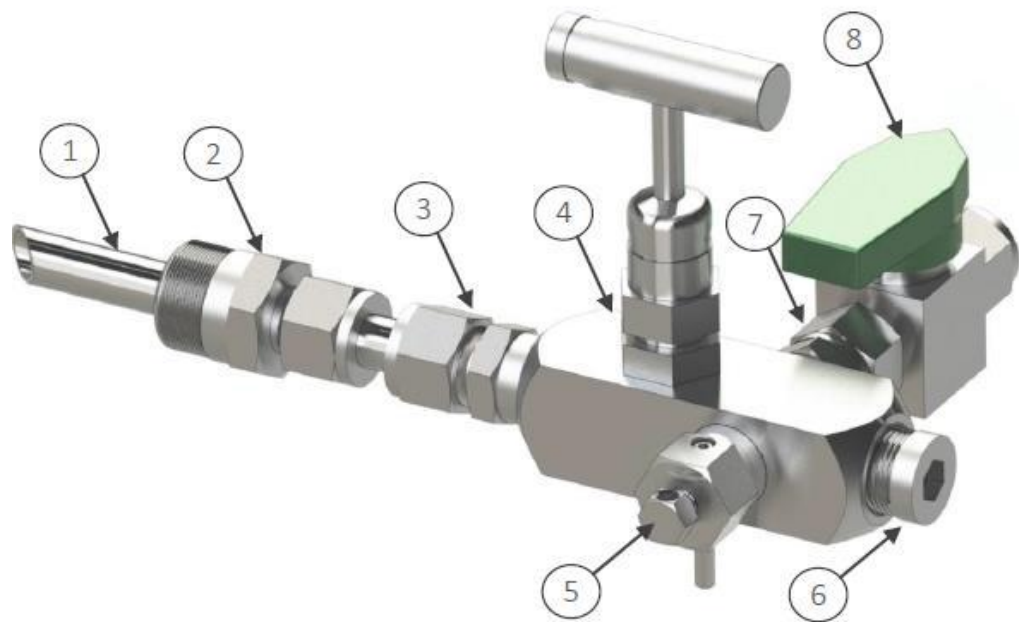
Las tuberías si bien es cierto no presentan fugas aparentes, pero al estar soldadas imposibilitan un reemplazo y mantenimiento sencillo de las mismas.



Fuente: Planta TPI, Copec

Figura 39: Toma de muestra analizador OCD CW

Con la desinstalación del analizador OCD CW se recomienda cambiar el reemplazo por una sonda de toma de muestra, aproximadamente a la mitad de la tubería y que facilite su limpieza de forma periódica. (Figura 40)



Fuente: Planta TPI, Copec

Figura 40: Toma de muestra recomendada

3.7 BATERÍA DE FILTROS EXTRA

El circuito de planta efluentes en la parte de que la bomba extrae agua residual desde la cámara 302 esta es conducida hacia la batería de filtros, existen dos bombas sin embargo en el manual de operaciones de la planta efluentes indica que solo se debe operar con una bomba y que la otra es en caso de que la bomba en funcionamiento presentara falla.

Sin embargo, en la operación principalmente por los operadores, el circuito en funcionamiento es con las dos bombas, generando una saturación en los filtros, filtración deficiente de las aguas residuales tratadas y por ende cuando estas aguas son dispuestas a la última cámara al aire libre, provoca olores indeseados, contaminación o estancamiento en la producción producto de que el analizador detecto algún parámetro anormal.

Asimismo, se entiende la necesidad de operar la planta de efluentes de forma más rápida producto de las pocas horas en condición buena y la demanda recurrente por parte de los drenajes, los slops contaminados de los buques o acumulación de aguas lluvias en invierno.

Se define y se actualiza en el procedimiento actual de operación de la planta efluentes a operar con solo una bomba, independiente de las necesidades que se requiera, producto de que el operar con dos bombas solo genera consecuencias negativas.

Adicionalmente se está cotizando y solicitando a ingeniería de planta, que es la subgerencia la cual distribuye los montos de dinero para proyectos de mejora el poder instalar otra batería de filtros de forma paralela incluyendo la canalización de cañerías en conexión con la bomba y el analizador de ppm.

3.8 ESTANDARIZACIÓN DE PROCESOS

Con el fin de definir los procesos, elementos requeridos, elementos de protección personal y cuidados se crea un procedimiento de mantenimiento integral de planta de efluentes para personal externo a la planta, para personal directo de Copec se encuentra realizado y documentado en plataformas internas.

3.8.1 Procedimiento mantenimiento integral planta efluentes: (Figura 41)

		TEMA	Código 89437
		MANTENIMIENTO INTEGRAL PLANTA EFLUENTES	Versión N° 1
Emitido por Mantenimiento planta	TPI - QUINTERO		Página 1 de 5
			Fecha Validez MARZO 2025

I. OBJETIVOS

Definir el procedimiento para la realización de la mantención integral de la planta de efluentes Copec TPI por personal externo

II. ALCANCE

Plantas Copec TPI y personal externo.

III. RESPONSABILIDADES

A. JEFE DE PLANTA

Es de su responsabilidad:

1. Coordinar y controlar los recursos técnicos y humanos necesarios para realizar las actividades de mantenimiento en Planta y/o Terminal Marítimo.
2. Dirigir, coordinar y supervisar la ejecución del programa anual de mantenimiento preventivo y correctivo a las instalaciones o en su efecto asignar responsabilidad a quien él designe su reemplazante.
3. Realizar visitas periódicas de supervisión y chequeo del cumplimiento del programa de mantenimiento.

B. PERSONAL CONTRATISTA

Es de su responsabilidad:

1. Ejecutar la mantención preventiva e integral a los equipos existentes en Planta efluentes.
2. Mantener informado al Jefe de Planta referente a las necesidades de ejecución de mantención correctiva a algún equipo en específico.
3. Cumplir con las disposiciones de prevención de riesgos y medio ambiente en la ejecución de las actividades de mantención.

Fuente: Creación propia

Figura 41: Procedimiento mantenimiento integral, página 1

Mantenimiento integral planta de efluentes Procedimiento – Personal contratista	Página 2 de 5	
C. JEFE DE TURNO/SUPERVISOR DE OPERACIONES Es de su responsabilidad: 1. Realizar visitas de supervisión a las instalaciones para detectar las necesidades del mantenimiento. 2. Reportar toda falla detectada de los equipos que requiera de programación de mantención correctiva.		
D. ASESOR EN PREVENCIÓN DE RIESGOS Es de su responsabilidad 1. Determinar y/o generar las recomendaciones y/o instrucciones de seguridad para la ejecución de las actividades de inspección y/o mantenimiento preventivo y/o correctivo de la infraestructura del Terminal		
E. PROGRAMADOR DE MANTENIMIENTO Es de su responsabilidad 1. Programar para las Plantas las actividades presentes en el Plan de Mantenimiento de la Planta mediante el software de gestión de Mantenimiento Fractal.		
IV. ELEMENTOS REQUERIDOS Herramientas mecánicas, grata, lijas, brochas para pintar, hidro lavadora, mangueras, detergentes, paños, lubricantes, solventes, pintura epóxica anticorrosiva, pintura epóxica de terminación, andamios, cargas filtrantes, pértiga, sacos de escombros, piping, fitting en PVC.		
V. ELEMENTOS DE PROTECCION PERSONAL Botas de seguridad, antiparras, casco de seguridad, guantes de trabajo, protectores auditivos (en caso de que se requiera), mascarilla para polvo, protección respiratoria con filtros para vapores orgánicos, arnés de seguridad completo, sistema de bloqueo. GENERALIDADES: • Coordinar con el supervisor del área los trabajos a realizar. • Realizar charla de seguridad de 5 minutos al inicio de la jornada.		

Fuente: Creación propia

Figura 42: Procedimiento mantenimiento integral, página 2

Mantenimiento integral planta de efluentes Procedimiento – Personal contratista	Página 3 de 5	
• Obtener permisos de trabajo. • Coordinar con operador la parada y el corte de energía de equipos • Despresurización y drenaje, cierre y bloqueo de válvulas de alimentación, • Descarga y dosificación de químicos. • Aplicar bloqueo de equipos. • Segregar zona de trabajo. • Mantener área de trabajo limpia y ordenada • Entregar equipo y área al supervisor de área. • Entregar informe de terreno en conformidad con supervisor del área. • Redactar informe electrónico con registro fotográfico antes y después de las actividades.		
Procedimientos de seguridad para trabajo en altura		
• Disponer de todas partes y piezas requeridas para el armado de andamios. • Para el armado y trabajo en andamios se utilizarán arnés de seguridad • completo. • De requerir amarras se harán en equipos anclados a piso y no de alambre. • Se dispondrán de 2 personas para trabajar en andamios. • Se inspeccionará los andamios antes de comenzar los trabajos.		
Procedimientos por equipos		
DAF-300		
• Lavar con hidro lavadora y detergente las zonas que lo requieran. • Inspeccionar rejillas, filtros, rascadores, sumideros, estanques, tuberías, • válvulas y bombas. • Realizar drenaje y limpieza de estanque, rascadores, sumideros y partes • móviles, retirando sedimentos. • Realizar desarme del equipo. • Lubricar rodamientos y partes móviles. • Realizar limpieza mecánica (grata, paños, solventes, entre otros). • Realizar tratamiento de superficie con pintura epóxica anticorrosivo y de		

Fuente: Creación propia

Figura 43: Procedimiento mantenimiento integral, página 3

Mantenimiento integral planta de efluentes Procedimiento – Personal contratista	Página 4 de 5	
--	---------------	--

- terminación en las zonas que lo requieran. Utilizar protección respiratoria
- con filtros para vapores orgánicos.
- Realizar el armado del equipo.
- Verificar funcionamiento de todas las partes.

4. Coagulador-Floculador

- Drenar estanques.
- Lavar con hidro lavadora y detergente los sistemas que lo requieran.
- Inspeccionar estanques, tuberías, válvulas y bombas.
- Realizar desarme de piezas móviles.
- Realizar limpieza mecánica de piezas móviles.
- Realizar tratamiento de superficie con pintura epóxica anticorrosivo y
- pintura epóxica de terminación en las zonas que lo requieran. Utilizar
- protección respiratoria con filtros para vapores orgánicos.
- Armar equipos.
- Verificar el correcto funcionamiento.

5. Bombas LMI dosificaciones para tratamiento fisicoquímico

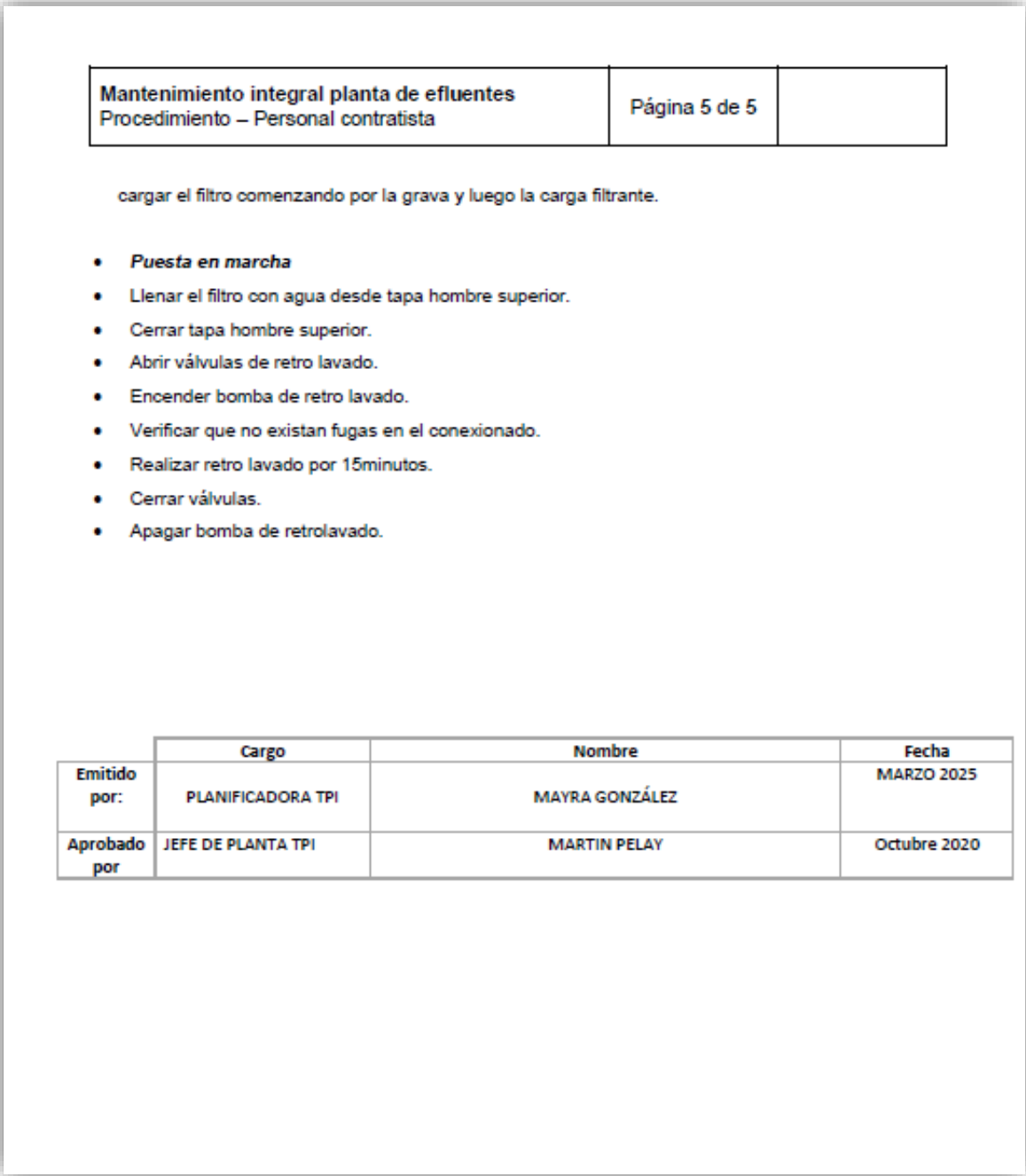
- Despresurizar sistema.
- Limpiar sistema de succión e inyección.
- Realizar limpieza exterior de la bomba con paños secos.
- Verificar el correcto funcionamiento, corregir fugas si se presentan.

6. Filtro Órgano-Arcilla 900litros y Filtro Carbón Activado

- Coordinar con operador la realización de un retro lavado de 10 minutos.
- Despresurizar el equipo abriendo válvula toma-muestra momentáneamente.
- Utilizando andamios retirar tapa hombre superior y extraer las cargas del filtro por sifón utilizando mangueras.
- Disponer de cargas retiradas.
- Transportar las cargas nuevas a las inmediaciones del filtro.
- Utilizando andamios y desde la tapa hombre superior verificar que no se encuentre ningún elemento extraño dentro del cuerpo, verificar condición del colector inferior y difusor superior,

Fuente: Creación propia

Figura 44: Procedimiento mantenimiento integral, página 4



Fuente: Creación propia

Figura 45: Procedimiento mantenimiento integral, página 5

3.8.2 Acta de entrega planta efluentes:

Asimismo, de la creación del procedimiento del mantenimiento integral para externo, se crea un acta de entrega el cual consta de todo lo que se debió realizar en el mantenimiento integral. (Figura 46)

		ACTA DE ENTREGA		
EXTERNO		NRO OT		
FECHA		LUGAR		
VERIFICACIONES EN PLANTA				
ITEM	EQUIPO / SISTEMA A EVALUAR			
1	DAF - 300	CUMPLE VERIFIACIÓN		OBSERVACIONES Y/O CONSIDERACIONES
		SI	NO	
1,1	Limpieza interna con hidro lavadora			
1,2	Limpieza mecánica norma SSPC - SP2			
1,3	Desarme de piezas mecánicas			
1,4	Suministro y cambio de cadena			
1,5	Suministro y cambio de piñones			
1,6	Suministros y cambio de goma de arrastre			
1,7	Suministro y cambio de rodamientos y soportes			
1,8	Instalación de rodamientos			
1,9	Tratamiento anticorrosivo y pintura externa epóxica			
1,1	Tratamiento anticorrosivo y pintura interna epóxica			
ITEM	EQUIPO / SISTEMA A EVALUAR			
2	CIRCUITO COAGULANTE Y FLOCULANTE	CUMPLE VERIFIACIÓN		OBSERVACIONES Y/O CONSIDERACIONES
		SI	NO	
2,1	Limpieza interna con hidro lavadora			
2,2	Desarme de piezas mecánicas móviles			
2,3	Limpieza mecánica norma SSPC - SP2			
2,4	Reparación de chapas metálicas y/o cambio de placas			
2,5	Anticorrosivo y pinturas externa epóxica			
2,6	Anticorrosivo y pinturas interna epóxica			

Fuente: Creación propia

Figura 46: Acta de entrega, mantenimiento planta efluentes

		ACTA DE ENTREGA	
EXTERNO		NRO OT	
FECHA		LUGAR	
VERIFICACIONES EN PLANTA			
ITEM	EQUIPO / SISTEMA A EVALUAR		
3	AS DOSIFICADORAS, TRATAMIENTO FISICO-QU	CUMPLE VERIFICACIÓN	OBSERVACIONES Y/O CONSIDERACIONES
		SI NO	
3,1	Reemplazo tubing succión		
3,2	Reemplazo tubing inyección		
3,3	Suministro y cambio de cabezal inyector		
3,4	Mantenimiento básico de bombas		
3,5	Limpieza de válvula		
3,6	Limpieza externa de estanques prod. Químicos		
3,7	Inspección filtraciones y pruebas de funcionamiento		
ITEM	EQUIPO / SISTEMA A EVALUAR		
4	PINTURA CAÑERIAS	CUMPLE VERIFICACIÓN	OBSERVACIONES Y/O CONSIDERACIONES
		SI NO	
4,1	Limoieza mecánica norma SSPC-SP2		
4,2	Tratamiento pintura exterior epóxica		
4,3	tratamiento de pintura galvanizado en frío cañerías eléctrica		
4,4	Reparación de chapas metálicas y/o cambio de placas		
OBSERVACIONES			
Pendientes:			
Nota:			
Firma contratista		Firma Copec	

Fuente: Creación propia

Figura 47: Acta de entrega, mantenimiento planta efluentes

3.9 EVALUACIÓN ECONÓMICA

El plan de mantenimiento desarrollado en esta investigación estará ejecutado mayoritariamente por personal interno de Copec; Mecánico y operadores. Sin embargo, hay calibraciones semestrales y mantenciones anuales que requieren de la empresa externa Inerco.

A continuación, se detalla las cotizaciones por parte de empresa Inerco versus el mantenimiento correctivo que se estaba desarrollando durante el tiempo y los costos por las demás mejoras.

3.10 COSTOS PLAN DE MANTENIMIENTO INTEGRAL

3.10.1 Presupuesto mantenciones empresa INERCO (Figura 48)



**PRESUPUESTO**

Providencia, Santiago

Andr ez Bello 2233, piso 3.

Teléfono: (+56 2) 29638560

Consultor: Sebastian Castro

FACTURAR A

TPI QUINTERO

FECHA

PRESUPUESTO #

ID. DEL CLIENTE

PRESUPUESTO VÁLIDO HASTA:

PREPARADO POR

24 de febrero de 2025

1345

COPEC - TPI QUINTERO

28 de febrero de 2025

Sebastian Castro

DESCRIPCIÓN		IMPORTE
Calibración analizador e inspección visual + Respuesto de linterna	SEMESTRAL	\$ 1.250.000
Mantenimiento integral planta efluentes + Repuestos	ANUAL	\$ 4.380.000
Mantenimiento integral planta efluentes + Repuestos	4 AÑOS	\$ 7.520.000
	TOTAL	\$ 13.150.000

CONTRATO 5 AÑOS

Si tiene alguna pregunta relacionada con este presupuesto, póngase en contacto con nuestros canales oficiales.

 GRACIAS POR SU CONFIANZA!

www.inerco.com



Fuente: Correo de presupuesto INERCO

Figura 48: Presupuesto mantenimiento integral, INERCO

En comparación al presupuesto de mantenimiento y stock de repuesto, este tiene un valor de 17 millones de peso, la disminución es de 33 millones de peso. Sin contar que el stock de repuesto no siempre se estaría ocupando todos anualmente es más bien asegurar stock para 2 años o más.

3.11.2 Presupuesto mantenimiento integral v/s mantenimiento actual

Si los 50 millones que se gastaron aproximadamente en los últimos 3 años se saca un promedio por año de aproximadamente 16 millones de peso, en comparación al plan de mantenimiento y a las mejoras que se desarrollan en esta investigación la diferencia es solo de 1 millón por sobre el mantenimiento actual, sin embargo, este millón en el corto plazo disminuye ya que se restaría el cambio de analizador, quedando un mantenimiento anual aproximadamente de 14 millones de peso.

Por el contrario, si la cifra de 14 millones de pesos se compara a todas las multas que Copec puede verse sometida esta diferencia sería una brecha mayor.

Según el SMA las infracciones medio ambientales se clasifican en:

- Infracción Leve: Infracciones que no causan un daño significativo al medio ambiente o a la salud de las personas. Multa de hasta 1.000 UTA = \$650.000.000 millones de peso.
- Infracción Grave: Estas infracciones causan un daño significativo al medio ambiente o a la salud de las personas, pero no comprometen de manera irreparable el equilibrio ecológico. Multa desde 1.000 UTA hasta 5.000 UTA = \$650.000.000 a \$3.250.000.000 millones de peso.
- Infracción Gravísima: Comprometen de manera irreparable el equilibrio ecológico o generan un daño irreparable a la salud de las personas. Multa desde los 5.000 UTA a 10.000 UTA = \$3.350.000.000 a \$6.500.000.000

Esas son las faltas en que, si un analizador no detecta trazas de hidrocarburo, las aguas no tratadas que serán depositada por el emisario son entre 50 m² a 150m², cubicación más que suficiente para tener desde una infracción grave hacia adelante.

CONCLUSIONES:

La presente investigación logro cumplir con el objetivo principal de proponer una mejora operación y de mantenimiento en la planta efluentes del terminal de productos importados (TPI) de Copec en Quintero, asegurando el cumplimiento normativo y medioambiental respecto a la descarga de aguas contaminadas con hidrocarburos. Para ellos, se desarrolló un plan de mantenimiento que incorpore metodologías como el análisis FMECA y la priorización de los activos críticos de la planta.

Se estableció la jerarquización de equipos basados en criterios de riesgo, frecuencia de falla y consecuencias operativas y ambientales. En este contexto, los analizadores TD4100 fueron identificados como los activos de mayor criticidad, debido a su rol fundamental en la validación de cumplimiento normativo previo a la descarga de efluentes. La sustitución del analizador OCD CW por el TD4100, junto con la estandarización de su mantenimiento preventivo, permitió eliminar fallas recurrentes, mejorar la fiabilidad de las mediciones y reducir los riesgos de sanción por incumplimiento ambientales.

La digitalización del plan mediante la plataforma Fractal facilitó la trazabilidad de los datos, optimizó la gestión de órdenes de trabajo y fortaleció la toma de decisiones mediante indicadores de desempeño como MTTR y MTBF. Esta estrategia permitió afrontar con éxito la autoridad interna, evidenciando la robustez del sistema implementado.

En cuanto a la factibilidad económica, la propuesta se ejecutó sin incrementar el costo en horas hombre, gracias a una reestructuración eficiente de los recursos internos. Las inversiones se centraron exclusivamente en los componentes críticos, demostrando un uso racional del presupuesto, acorde a los lineamientos del análisis de costo – beneficios.

En suma, se concluye que la implementación de un plan de mantenimiento técnico, jerarquizado, digitalizado y alineado con los objetivos operacionales y normativos, no solo garantiza la continuidad operacional de la planta efluentes, sino que incluso mitiga riesgos y multas ambientales, mejora la disponibilidad de activos y asegura el cumplimiento regulatorio en condiciones de operaciones restrictivas como las impuestas por el PPDA

BIBLIOGRAFÍA

Pistarelli, A. J. (s.f.). "*Manual de mantenimiento*". Argentina.

Copec, Carlos Dazarola. (2023). "*Manual de operaciones del terminal marítimo Copec el Bato, Quintero*".

José R. Aguilar-Otero, corporación mexicana de investigación en materiales S.A (s.f). "*Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC)*". México

ISO. 2006 – ISO 14224. "*Petroleum, petrochemical and natural gas industries- Collection and Exchange of reliability and maintenance data for equimaent*" Ginebre, Suiza

Copec, (2021). "*Plan de contingencia para el control de derrames de hidrocarburos, sus derivados y otras sustancias nocivas*". República de Chile

Ministerio del medio ambiente, (2019). "*Plan de prevención y descontaminación atmosférica para las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví*". República de Chile

Shipping, I. C. (2020 Sexta edición). *Guía internacional de seguridad para petroleros y terminales*.

nacional, B. d. (2008). *Decreto 160: Reglamento de seguridad para las instalaciones y operaciones de producción y refinación, transporte, almacenamiento, distribución y abastecimiento de combustibles líquidos*. Chile.