

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

**ESTUDIO DE CONDICIÓN DE LUBRICANTE SINTETICO EN CAJA
MULTIPLICADORA DE VELOCIDAD DE BOMBA SUNDYNE MODELO
LMV-311, PLANTA HIDROTRATAMIENTO DE DIESEL ENAP
REFINERIAS BIOBÍO**

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

Alumno:

Javier Eduardo Vargas Ortiz

Profesor Guía:

Aldo Gabriel Fuentes Troncoso



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: ESTUDIO DE CONDICIÓN DE LUBRICANTE SINTETICO EN CAJA MULTIPLICADORA DE VELOCIDAD DE BOMBA SUNDYNE MODELO LMV-311, PLANTA HIDROTRATAMIENTO DE DIESEL ENAP REFINERIAS BIOBÍO

Nombre del candidato(a): JAVIER EDUARDO VARGAS ORTIZ.

Carrera / Grado: INGENIERIA EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL, CON LICENCIATURA EN INGENIERIA.

Campus: SEDE CONCEPCIÓN _____ Departamento: DEPARTAMENTO DE MECÁNICA _____

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, ALDO FUENTES TRONCOSO, 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: 03-06-2026 _____ Firma: _____

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 03-06-2026 _____ Firma: _____

DEDICATORIA

Doy gracias a dios por darme la oportunidad de aprender e ir avanzando a través de los años, donde las experiencias me han ido fortalecido como ser humano y me ha permitido tener una visión, empatía y comprensión a la hora de tomar decisiones.

Doy gracias a mi pareja Stefany. Ella ha sido mi compañera de vida, en la que yo puedo descansar y apoyarme cuando las decisiones difíciles necesitan una segunda opinión. Le doy las gracias por darme la oportunidad de ser padre de un maravilloso hijo llamado Joaquín, quien ha sido la fuente constante de mi alegría y motivación en día a día. Gracias a él, he aprendido el verdadero significado de la paciencia, la responsabilidad y el amor incondicional, fortaleciendo en mí valores y capacidades que han contribuido tanto a mi crecimiento personal como profesional.

RESUMEN

El estudio que se elaboró surge a partir de una caja multiplicadora de velocidad que presentaba una condición anormal en sus piezas mecánicas, debido a la presencia de barnices y sedimentos asociados a problemas de lubricación. Para comprender lo que está sucediendo, se desarrolló una base teórica relacionada con tribología, lubricación industrial y análisis de lubricantes, lo que permite contextualizar el comportamiento de los lubricantes en los equipos industriales.

A raíz del problema observado en el equipo P1502-B de la planta de planta hidrotratamiento de diésel, se realizó una inspección en terreno, levantamientos fotográficos, encuestas al personal y análisis de causa raíz, donde se logra evidenciar problemas de ausencia de monitoreos de condición de lubricante, lo cual limitó la detección temprana de la condición anormal del lubricante.

En base a lo anterior, se propone la implementación de un nuevo lubricante para realizar una prueba piloto, y así poder realizar un seguimiento mediante análisis de lubricantes durante varios meses para evaluar el desempeño entre el lubricante actual y el propuesto para la prueba piloto. El fin de esto, es lograr evidenciar que lubricante tiene mejor desempeño, si hay estabilidad fisicoquímica de los lubricantes y si hay un mejor comportamiento más confiable.

Finalmente, se realiza un análisis de costo- beneficio el cual considera costos de lubricantes, mano de obra, frecuencia de cambio de lubricante en conjunto con la proyección de estos costos a corto y largo plazo. Con ello se concluye que, en el estudio se puede evidenciar una solución económicamente viable, que puede mejorar la confiabilidad de los equipos y del proceso.

ÍNDICE DE MATERIAS

1. MARCO TEÓRICO	4
1.1. ENAP REFINERÍAS S.A.....	4
1.2. COMPAÑÍA DE SERVICIOS INDUSTRIALES LTDA.	4
1.2.1. Servicios prestados por CSI Ltda.....	4
1.2.2. Estructura organizacional.....	5
1.3. BOMBAS.....	6
1.3.1. Clasificación de las bombas.....	6
1.3.2. Bombas centrífuga	7
1.4. TRIBOLOGÍA	8
1.4.1. Lubricación	8
1.4.2. Fricción	9
1.4.3. Desgaste	10
1.5. LUBRICANTES	10
1.5.1. Aceite mineral	11
1.5.2. Aceite sintético.....	11
1.6. ANÁLISIS DE ACEITE	12
1.6.1. Trivector.....	13
1.7. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LOS ACEITES LUBRICANTES.	14
1.7.1. Viscosidad	14
1.7.2. Índice de viscosidad.....	15
1.7.3. Número de ácido total.....	15
1.7.4. Oxidación.....	16
1.7.5. Punto de fluidez	16
1.7.6. Punto de inflamación	16
1.7.7. Demulsibilidad.....	17
1.8. LABORATORIO	17
1.9. MINILAB 53	17
1.9.1. Analizador químico de condición de aceite fluidscan 1100	19
1.9.2. Analizador de partículas lnq 230	20
1.9.3. Viscosímetro spectrovise q3000	21

1.10.	NORMA ISO 3448	21
2.	ESTUDIO DEL CASO	24
2.1.	ENAP REFINERIAS BIOBÍO	24
2.2.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PLANTA HDT	25
2.3.	EQUIPO P1502-B.....	27
2.4.	MOTOR ELECTRICO	30
2.5.	CAJA MULTIPLICADORA.....	30
2.5.1.	Sistema de lubricación	31
2.5.2.	Filtro de aceite.....	32
2.5.3.	Lubricante	33
2.6.	BOMBA CENTRIFUGA.....	35
2.7.	PROBLEMA DEL CASO.....	36
2.8.	ENCUESTA	40
2.8.1.	Enfoque y estructura de la encuesta.....	40
2.8.2.	Resultados de la encuesta.....	42
2.9.	LEVANTAMIENTO FOTOGRÁFICO	48
2.10.	ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ	53
3.	PLANTEAMIENTO DE SOLUCIÓN	56
3.1.	AUTORIZACION PARA PRUEBA PILOTO.....	56
3.2.	SELECCIÓN DE ACEITE PRUEBA P1502-B	56
3.3.	MUESTRA DE ACEITES ALMACENADOS.....	58
3.3.1.	Resultados obtenidos del análisis.....	59
3.4.	CAMBIO DE ACEITE P1502-B	60
3.5.	SEGUIMIENTO ESTADO DE ACEITE	61
3.5.1.	Resultados del aceite royal purple ISO 32.....	61
3.5.2.	Resultados del aceite MOBIL SHC 624 ISO 32.....	63
3.6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	65
4.	ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO	72
4.1.	COSTOS TRABAJOS DE CAMBIO DE ACEITE	72
4.1.1.	Costo humano	72
4.1.2.	Valores de lubricantes y filtro de aceite	73
4.2.	PROYECCIÓN ANUAL DE COSTOS.....	73

4.3.	PROYECCIÓN DE COSTOS	75
4.4.	COSTO ECONOMICO FALLA DE CAJA MULTIPLICADORA.....	77
4.5.	PROYECCIÓN DE BENEFICIOS ECONOMICOS	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Jerarquía de servicio de lubricación.	5
Figura 1-2. Clasificación de bombas hidráulicas..	6
Figura 1-3. Ilustración lubricación hidrodinámica.....	9
Figura 1-4. Ilustración lubricación elastohidrodinámica..	9
Figura 1-5. Curva falla potencial.	13
Figura 1-6. Esquema Trivector.	14
Figura 1-7. Minilab 53.	18
Figura 1-8. Analizador químico.	20
Figura 1-9. Analizador de partículas.	20
Figura 1-10. Viscosímetro.	21
Figura 2-1. Planta COKER (Izquierda) y planta HDT (Derecha).....	24
Figura 2-2. Proceso a grandes rasgos de planta HDT..	25
Figura 2-3. Función de bomba P-1502-B.	27
Figura 2-4. Reactor R1502 (izquierda) y reactor R1501 (derecha)..	28
Figura 2-5. Acumulador D1505.	28
Figura 2-6. Bomba P1502-B (Izquierda) y P1502-A (Derecha).	29
Figura 2-7. Equipo P-1502-B.	29
Figura 2-8. Esquema del sistema de lubricación.	32
Figura 2-9. Filtro de aceite de caja multiplicadora..	33
Figura 2-10. Rodamiento con barniz adherido en aro exterior e interior.....	37
Figura 2-11. Rodamiento con barniz adherido en aro exterior..	37
Figura 2-12. Rodamiento con barniz adherido en aro exterior.	38
Figura 2-13. Rodamiento con barniz adherido en aro exterior e interior y en elementos rodantes..	38
Figura 2-14. Engranaje con barniz adherido en cara, flanco y borde superior e inferior.....	39
Figura 2-15. Bomba de lubricación interna de caja multiplicadora, se evidencia barniz adherido.	39
Figura 2-16. Almacenamiento de tambores de aceite..	48
Figura 2-17. Tambor de Royal Purple ISO 32 con sedimentos..	49

Figura 2-18. Bidón hermético de Royal Purple ISO 32 con sedimento.....	49
Figura 2-19. Bidón hermético de Royal Purple ISO 32 con sedimento.....	50
Figura 2-20. Caja multiplicadora con barniz adherido en visor.....	50
Figura 2-21. Caja multiplicadora con barniz y sedimentos en su interior..	51
Figura 3-1. Aceite Royal Purple (izquierda) y Mobil SHC 624 (derecha)..	58
Figura 3-2. Visor de nivel equipo P1502-B utilizando aceite Mobil SHC 624..	70
Figura 3-3. Visor de nivel equipo P1502-A utilizando aceite Royal Purple..	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Clasificación de tipo de bombas e identificación.	7
Tabla 1-2. Información técnica de aceites sintéticos.....	12
Tabla 1-3. Parámetros claves que mide analizador Minilab 53.	19
Tabla 1-4. Viscosidades según norma ISO 3448.....	22
Tabla 2-1. Listado de acumuladores.	26
Tabla 2-2. listado de Intercambiadores de calor.....	26
Tabla 2-3. Listado de reactores.	26
Tabla 2-4. Listado de bombas y compresores.	27
Tabla 2-5. Datos de motor eléctrico P1502-B.....	30
Tabla 2-6. Datos de caja multiplicadora P1502-B.	31
Tabla 2-7. Recomendaciones de aceite lubricante.	34
Tabla 2-8. Datos de aceite Royal Purple ISO 32.	35
Tabla 2-9. Datos bomba centrífuga P1502-B.....	36
Tabla 2-10. Cargos de personas encuestadas.	42
Tabla 2-11. Resumen de hallazgos.....	47
Tabla 2-12. Cajas multiplicadoras modelo LMV – 311 en refinería.....	52
Tabla 2-13. Tabla cinco porqués.	53
Tabla 3-1. Datos de aceite Mobil SHC 624 ISO 32.....	57

Tabla 3-2. Resultado de análisis de aceite Mobil SHC 624 ISO 32.	59
Tabla 3-3. Resultado de análisis de aceite Royal purple ISO 32.	59
Tabla 3-4. Insumos para realizar cambio de aceite.	60
Tabla 3-5. Resultado de análisis de aceite Royal purple ISO 32, Mes Agosto.	61
Tabla 3-6. Resultado de análisis de aceite Royal purple ISO 32, Mes Septiembre.	61
Tabla 3-7. Resultado de análisis de aceite Royal purple ISO 32, Mes Octubre.	62
Tabla 3-8. Resultado de análisis de aceite Royal purple ISO 32, Mes Noviembre.	62
Tabla 3-9. Resultado de análisis de aceite Royal purple ISO 32, Mes Diciembre.	62
Tabla 3-10. Resultado de análisis de aceite Mobil SHC 624 ISO 32, Mes Agosto.	63
Tabla 3-11. Resultado de análisis de aceite Mobil SHC 624 ISO 32, Mes Septiembre.	63
Tabla 3-12. Resultado de análisis de aceite Mobil SHC 624 ISO 32, Mes Octubre.	64
Tabla 3-13. Resultado de análisis de aceite Mobil SHC 624 ISO 32, Mes Noviembre.	64
Tabla 3-14. Resultado de análisis de aceite Mobil SHC 624 ISO 32, Mes Diciembre.	64
Tabla 4-1. Costo económico por mano de obra.	72
Tabla 4-2. Valores de lubricantes y filtro de aceite.	73
Tabla 4-3. Costo anual de cambio de aceite con lubricante Royal purple ISO 32.	74
Tabla 4-4. Costo anual de cambio de aceite con lubricante Mobil SHC 624 ISO 32.	74
Tabla 4-5. Proyección de costos de cambio de aceite con lubricante Mobil SHC 624 ISO 32. ...	75
Tabla 4-6. Proyección de costos de cambio de aceite con lubricante Royal purple ISO 32.	75
Tabla 4-7. Proyección de costos de cambio de aceite de aceites en 26 cajas multiplicadoras con lubricante Mobil SHC 624.	78
Tabla 4-8. Proyección de costos de cambio de aceite de aceites en 26 cajas multiplicadoras con lubricante Royal purple ISO 32.	78

ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico 3-1. Tendencia de agua de aceites Mobil SHC 624 y Royal Purple.	65
Gráfico 3-2. Tendencia del TAN de aceites Mobil SHC 624 y Royal Purple.....	66
Gráfico 3-3. Tendencia de la oxidación de aceites Mobil SHC 624 y Royal Purple.	67
Gráfico 3-4. Tendencia de la viscosidad de aceites Mobil SHC 624 y Royal Purple.	68
Gráfico 4-1. Cuadro comparativo costos cambio de aceites Mobil SHC 624 y Royal Purple.	76
Gráfico 4-2. Cuadro comparativo costos cambio de aceites en 26 cajas multiplicadoras	79

SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

SIGLAS

ENAP	:	Empresa nacional del petróleo
CSI LTDA.	:	Compañía de servicios industriales limitada.
COPEC	:	Compañía de petróleos de Chile
TAN	:	Numero de acidez total
KOH	:	Hidróxido de potasio
API 610	:	Estándar internacional de requisitos para bombas centrifugas
IR	:	Infrarrojo
ISO 4406:99	:	Estándar internacional de contaminación sólida en lubricantes
ISO 3448	:	Clasificación internacional de viscosidad de lubricantes líquidos
COKER	:	Planta de coquización retardada
HDT	:	Planta de hidrotratamiento de diésel
H ₂ S	:	Sulfuro de hidrógeno
N ₂	:	Nitrógeno molecular
ISO 32	:	Grado de viscosidad estándar
SHC 624	:	Aceite sintético de alto rendimiento
KG/CM ²	:	Kilogramos por centímetro cuadrado
%	:	Porcentaje
\$	:	Peso chileno
MINILAB 53	:	Equipo para realizar análisis de aceite

SIMBOLOGÍAS

cSt	:	Centistokes
MM ² /S	:	Milímetro cuadrado por segundo
HP	:	Caballo de fuerza
R.P.M	:	Revoluciones por minuto
>	:	Mayor que
PPM	:	Partes por millón

INTRODUCCIÓN

Las bombas centrífugas son ampliamente utilizadas en la industria debido a su capacidad de mover grandes caudales de manera continua. La incorporación de cajas multiplicadoras permite optimizar la velocidad de operación de los equipos rotatorios, facilitando la transmisión de potencia para el funcionamiento del sistema.

Este estudio se enfoca en la caja multiplicadora del equipo P1502-B de ENAP Refinerías Biobío, ubicada en la planta de hidrotratamiento de diésel (HDT). Este equipo es crítico dentro del proceso, ya que mantiene el suministro continuo del fluido quench hacia el reactor R1502. Su operación es ininterrumpida, lo cual convierte este equipo en un elemento clave para la estabilidad térmica del reactor durante su proceso productivo. Por lo tanto, su confiabilidad influye directamente en la continuidad operacional de la planta.

El mantenimiento preventivo de los equipos mediante la lubricación ayuda a prolongar la vida útil y reducir fallas, ya que esto mejora la eficiencia operacional. La lubricación adecuada disminuye la fricción, el desgaste y evita que los mecanismos puedan quedar trabados. Asimismo, el mantenimiento predictivo a través de análisis de aceite permite detectar de forma temprana la contaminación, degradación y presencia de partículas de los lubricantes.

La investigación surge tras detectar la presencia de barniz y sedimentos en la caja multiplicadora del equipo P1502-B, lo que sugiere posibles problemas por el lubricante en uso. Esto motivó la evaluación de nuevas alternativas de lubricantes mediante un análisis técnico y pruebas en terreno. El objetivo es mejorar la confiabilidad del equipo y reducir los costos de mantenimiento, basándose en la condición real de operación.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el lubricante de caja multiplicadora P1502-B, para mejorar la disponibilidad y confiabilidad de este equipo.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Describir condición de trabajo de la bomba P1502-B.
- Analizar estados y propiedades de lubricante actualmente en uso en bomba P1502-B.
- Evaluar alternativas de mejora al lubricante actualmente en uso.
- Desarrollar evaluación económica de este estudio.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

1. MARCO TEÓRICO

1.1. ENAP REFINERÍAS S.A

La empresa nacional del petróleo (ENAP) es una empresa del estado de Chile fundada el año 1950 y es quien se dedica a producir derivados del petróleo a través de exploración, explotación de yacimientos petrolíferos y gasíferos en Chile, producción y refinación. El año 1966 con motivo de la creciente demanda de combustibles en Chile y con el objetivo de facilitar el acceso a sus recursos se inauguró la refinería de la región del Bío Bío en la comuna de Hualpén.

1.2. COMPAÑÍA DE SERVICIOS INDUSTRIALES LTDA.

La compañía de servicios industriales (CSI) es una empresa 100 por ciento filial de la compañía de petróleos de Chile (COPEC). Fundada el 14 de marzo del año 2007 con el sentido de, prestar servicios altamente especializados a clientes industriales.

Las primeras actividades comenzaron a ser desarrolladas en la región de Antofagasta, donde comenzó a ser referente en servicios de combustibles y lubricantes. Tras el éxito de sus operaciones, comenzó a expandir sus servicios a nivel nacional. El año 2021 CSI LTDA. participa en la licitación del servicio de lubricación de equipos rotatorios de ENAP REFINERIAS S.A, donde logra obtener el contrato de lubricación de equipos rotatorios en la refinería de la región de Valparaíso y la refinería de la región del Biobío. Compañía de servicios industriales LTDA comienza a prestar sus servicios en la refinería de la región del Biobío en enero del año 2022.

1.2.1. Servicios prestados por CSI Ltda..

CSI Ltda. Presta los servicios de lubricación a todos los equipos rotatorios de la planta Enap refinerías Biobío. Dentro de algunos de los servicios que podemos mencionar son:

- a) Cambios de aceites.

- b) Deshidratado de aceites
- c) Microfiltrado de aceites.
- d) Propuestas de mejora.
- e) Análisis de aceite.
- f) Inspecciones, limpiezas y rellenos de aceite.
- g) Inspecciones visuales a equipos.

1.2.2. Estructura organizacional

CSI Ltda. cuenta con una línea de mando administrativa y una línea de mando ejecutiva. La cual establece una estructura jerárquica a la hora de tomar decisiones, que conlleva el buen desempeño laboral, tanto como para los trabajadores y el cliente.

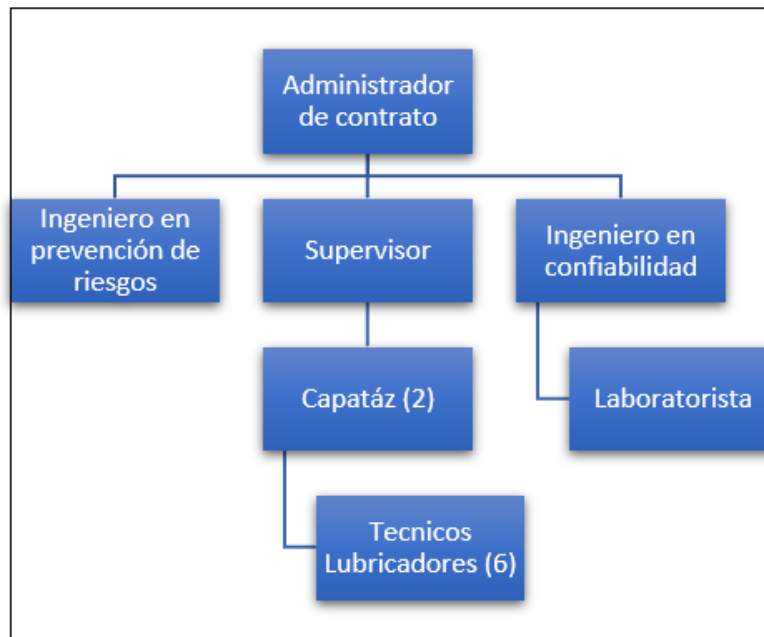


Figura 1-1. Jerarquía de servicio de lubricación.
Fuente: Elaboración propia.

1.3. BOMBAS

Las bombas son maquinas hidráulicas que transfieren energía a un fluido incompresible con la finalidad de transportarlo de un lugar a otro. Las principales ventajas de utilizar las bombas dentro de la industria incluyen la capacidad de mover grandes volúmenes de líquidos, generar altas presiones para trasladar fluidos de diversas viscosidades, aumentan la productividad dentro de las empresas, entre otros.

1.3.1. Clasificación de las bombas

Existen diversas bombas dentro de la industria y cada una de ellas cumple una función en específico, dependiendo el proceso de producción se elige la bomba según las necesidades del proceso.

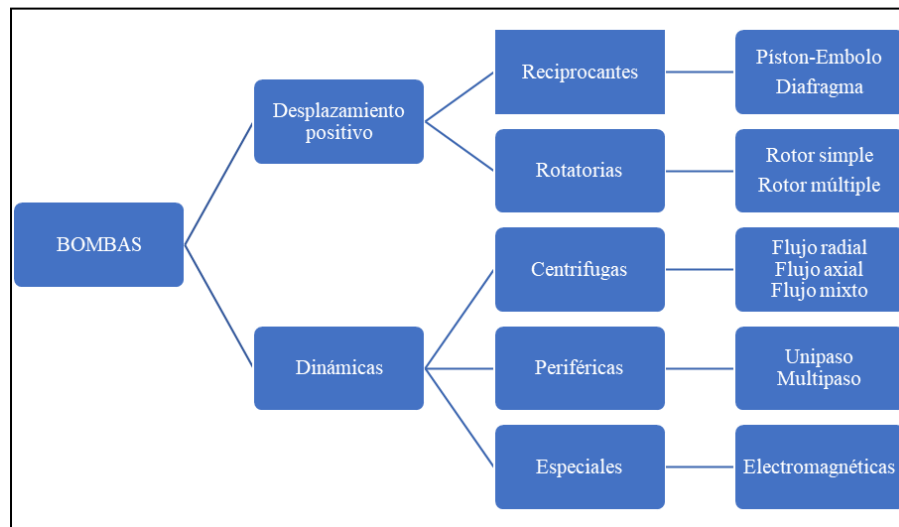


Figura 1-2. Clasificación de bombas hidráulicas.
Fuente: Norma API 610.

1.3.2. Bombas centrífuga

Las bombas centrífugas son máquinas hidráulicas que transforman la energía mecánica en energía cinética y potencial, con el fin para aumentar la velocidad de los fluidos y moverlos a través de cañerías para realizar un servicio o ser utilizados en un proceso de producción. Este tipo de bomba es la más utilizada dentro de las refinerías, ya que, su diseño es relativamente sencillo para las ventajas y prestaciones. La norma API 610 clasifica las bombas centrífugas en tres grupos: las bombas en voladizo (OH), las bombas entre rodamientos (BB) y las bombas verticalmente suspendidas (VS).

Tabla 1-1. Clasificación de tipo de bombas e identificación.

			Horizontal	Pie de soporte	OH1
				Soporte al centro	OH2
BOMBAS CENTRÍFUGAS	En Voladizo (Overhung)	Acople Flexible	Vertical "In-Line" con Soporte Rodamientos		OH3
		Acople Rígido	Vertical "In-Line"		OH4
			Vertical "In-Line"		OH5
		Acople Cerrado	Alta Velocidad Engranajes Integrados		OH6
	Entre Rodamientos (Between Bearings)	1 y 2 Etapas	Axialmente Partida		BB1
			Radialmente Partida		BB2
		Multietapas	Axialmente Partida		BB3
			Radialmente Partida	Cubierta Sencilla	BB4
	Verticalmente Suspendida (vertically suspended)	Cubierta Sencilla	Descarga a través de la columna	Doble Cubierta	BB5
				Difusores	VS1
			Descarga separada	Voluta	VS2
				Flujo Axial	VS3
		Doble Cubierta	Eje en Línea	Voladizo	VS4
					VS5
					VS6
					VS7

Fuente: Norma API 610.

1.4. TRIBOLOGÍA

Es el estudio de la ciencia y la tecnología de las superficies mecánicas que se encuentran en movimiento relativo, la cual abarca la lubricación, la fricción y el desgaste. El objetivo de la tribología es entender como estos fenómenos interactúan entre sí, para así desarrollar soluciones que puedan mejorar el rendimiento, aumentar la vida útil de los equipos y reducir la fricción y el desgaste de los componentes mecánicos.

1.4.1. Lubricación

La lubricación se define como el control de la fricción y el desgaste de los componentes mediante la aplicación de una película que reduce la fricción entre dos superficies en contacto. Esta película es llamada lubricante, la cual puede ser sólida, semisólida y líquida, los lubricantes más utilizados en las industrias son las grasas y los aceites.

Existe distintos tipos de lubricación como por ejemplo la lubricación hidrodinámica, la cual se produce cuando el lubricante se encuentra entre las superficies en contacto y forma una capa protectora de lubricante que reduce la fricción entre las superficies. También está la lubricación elastohidrodinámica, la cual se produce cuando el lubricante se encuentra entre las superficies en contacto y se combina con la elasticidad de las superficies, logrando el mismo objetivo que la lubricación hidrodinámica el cual es reducir la fricción.

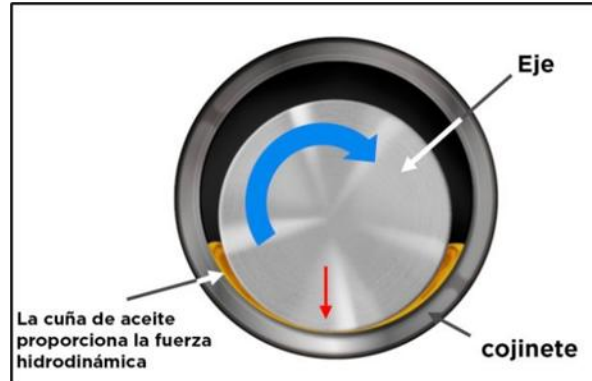


Figura 1-3. Ilustración lubricación hidrodinámica.
Fuente: Noria latín américa.



Figura 1-4. Ilustración lubricación elastohidrodinámica.
Fuente: Noria latín américa.

1.4.2. Fricción

Es la resistencia que se produce cuando dos cuerpos se encuentran en contacto debido al movimiento de una superficie sobre otra. Es importante tener en cuenta que la fricción es el principal causante de las fallas en los componentes mecánicos, ya que genera desgaste y erosión, lo que puede llevar a la falla prematura de los componentes. Cuando no existe lubricación o hay una lubricación de mala calidad las superficies se frotan directamente entre sí, lo que aumenta la fricción.

1.4.3. Desgaste

Es el daño o pérdida de material debido a la interacción de una superficie con otra. El desgaste puede ocurrir de diversas formas y puede ser causado por factores como la fricción, la corrosión, la fatiga, la abrasión, entre otros. El desgaste abrasivo es la forma más común de desgaste en máquinas industriales lubricadas. La rugosidad de las superficies y la contaminación por particulados causan cortes y daños en las superficies de los componentes mecánicos que están en movimiento.

La abrasión de dos cuerpos ocurre cuando las superficies de un componente penetran directamente sobre un segundo componente como por ejemplo entre dos dientes de engranajes. No existe presencia de contaminación por particulado. El contacto ocurre debido a una inadecuada selección de lubricante, la cual puede provocar la degradación y provocar la fricción de las superficies ya que ambos componentes tienen diferentes rugosidades.

La abrasión de tres cuerpos ocurre cuando existe un contaminante relativamente duro y su tamaño es mayor que el espesor de la película lubricante el cual provoca ranurados en las superficies.

1.5. LUBRICANTES

Los lubricantes son una sustancia que reduce la fricción y el desgaste entre dos superficies y estos son clasificados como sólidos, semisólidos y líquidos.

El lubricante es un elemento vital para el funcionamiento de las máquinas y también es el responsable de mantener la operación continua del proceso industrial de las empresas. Cuando no existe un servicio dedicado a la lubricación y, por tanto, no se selecciona el lubricante adecuado para cada máquina estas comienzan a fallar, generando costosas reparaciones, paradas no programadas, pérdida de calidad del producto y detención de la línea de producción. Todos los equipos industriales tienen una vida útil especificada por el fabricante y el trabajo de los lubricantes es lograr que esto se cumpla y en el mejor de los casos se extienda.

1.5.1. Aceite mineral

Los lubricantes líquidos son ampliamente usados dentro de la industria, siendo el aceite mineral el más utilizado. El aceite mineral es fabricado a través de la refinación del petróleo donde de ese proceso se obtiene un aceite base, luego este aceite base es llevado a un nuevo proceso de producción donde se le añaden los aditivos necesarios según la necesidad de cada equipo. Hay muchos tipos de aditivos y estos constituyen alrededor del 0.1 al 30 por ciento del aceite lubricante terminado.

1.5.2. Aceite sintético

El aceite sintético es un lubricante líquido elaborado de compuestos químicos creados artificialmente. Algunos compuestos son fabricados al descomponer y luego reconstruir las moléculas del petróleo. Según el instituto americano del petróleo existen dos categorías de bases lubricantes sintéticas, siendo una de ellas el grupo IV. La única base lubricante sintética incluida son las polialfaolefinas, la cual se elabora a partir de la polimerización de una molécula de alfa-olefina, como el etileno. La ventaja de este tipo de aceite sintético es que todas las moléculas del aceite tienen la misma forma y tamaño, y están se encuentra completamente comprimidas. En cambio, en los aceites minerales sus moléculas son de distintos tamaños y formas y estas no se encuentran completamente comprimidas. En la siguiente tabla se dará a conocer los usos, beneficios y debilidades de los aceites sintéticos.

Tabla 1-2. Información técnica de aceites sintéticos.

Aplicaciones	Fortalezas	Debilidades
Compresores, engranajes, cajas multiplicadoras de velocidad, motores de tracción, rodamientos de rodillos, aplicaciones de bajas temperaturas, sopladores, turbinas	Resistencia térmica	Limitada biodegradabilidad
	Resistencia a la oxidación	Limitada miscibilidad con aditivos
	Alto índice de viscosidad	Riesgo de encoger sellos
	Bajo coeficiente de tracción	Tendencia de generar insolubles de barniz
	Alta capacidad de carga	Mayor costo de producción
	Buena fluidez a bajas temperaturas	
	No toxico	

Fuente: Noria Latín América.

1.6. ANÁLISIS DE ACEITE

Los análisis de aceite es un estudio que tiene como objetivo conservar la salud de los aceites lubricantes, aumentar la confiabilidad y disponibilidad de las maquinas industriales. Estos estudios son realizados en aceites nuevos y aceites que se encuentran en uso en los equipos. Los estudios de los aceites en equipos que están en servicios son realizados en laboratorios donde se puede predecir su comportamiento, determinar su vida útil, el estado de los componentes de los equipos y la contaminación del aceite. Al finalizar los estudios se entregan los resultados obtenidos a los clientes donde se puede decidir las acciones que se van a ejecutar para preservar el servicio de las máquinas. Algunas de estas acciones pueden ser cambios de aceites, detenciones programadas para cambio de componentes, micro filtrado de aceite, deshidratado de aceite. Como parte de un programa de mantenimiento proactivo el análisis de aceite en terreno puede ser transportado a laboratorios portátiles los que a su vez ayuda a entregar resultados rápidos, permitiendo decisiones inmediatas con el fin de aumentar el poder de decisión en un plan de acción.

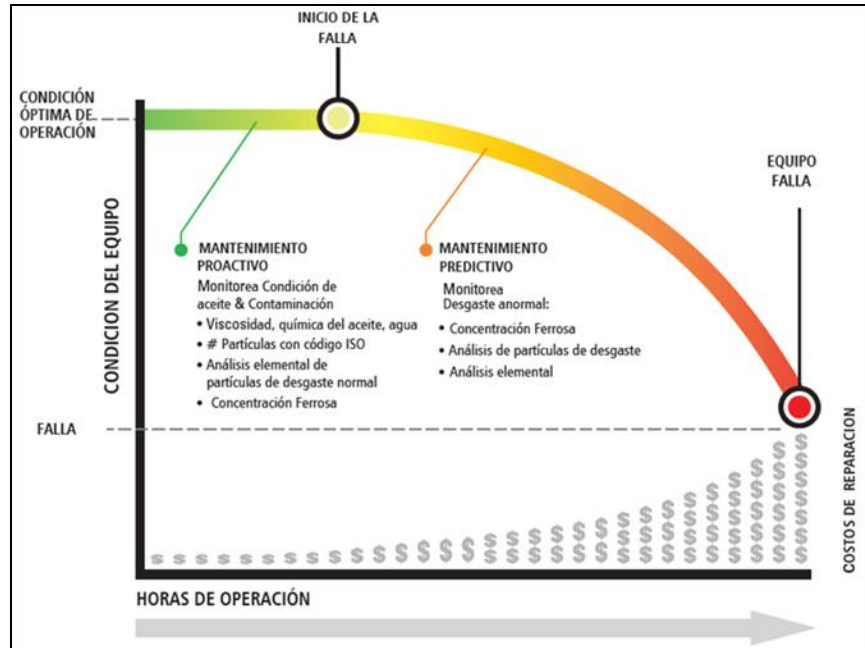


Figura 1-5. Curva falla potencial.
Fuente: Catálogo de laboratorio minilab series.

1.6.1. Trivector

El Trivector es una representación sencilla de la integridad de la lubricación y la salud de la maquinaria. El Trivector indica el nivel de salud de cada vector. Cada vector es una representación de los límites de alarmas de algunos parámetros, como por ejemplo la viscosidad, la contaminación por agua, número de ácido del aceite, grado de oxidación, número de partículas, entre otras.



Figura 1-6. Esquema Trivector.
Fuente: Catálogo de laboratorio minilab series.

Este tipo de diagrama permite responder algunas preguntas sobre la muestra de aceite que se está evaluando tales como:

1. ¿Qué tipo de desgaste encontramos en el análisis?, ferroso o no ferroso.
2. ¿Qué tipo de contaminación encontramos?, producto del proceso, agua, polvo.
3. ¿Qué tipo de degradación fisicoquímica hay en la muestra?, pérdida de propiedades de los aditivos, degradación del aceite base, pérdida de película del lubricante.

1.7. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LOS ACEITES LUBRICANTES.

1.7.1. Viscosidad

La viscosidad es la resistencia de fluir de los aceites lubricantes y es la cualidad más importante al seleccionar el lubricante que se utilizara en las maquinas industriales. Existen dos tipos de viscosidad la absoluta y la cinemática. Para nuestro caso solo se detallará la viscosidad cinemática.

La viscosidad cinemática es la resistencia interna de los aceites a fluir bajo fuerzas gravitacionales. Para medir esta resistencia se realiza una prueba donde el aceite es calentado a

40°C y se mide el recorrido desde un punto determinado a otro. La unidad de medida de la viscosidad es llamada centistokes (cSt) o milímetros cuadrados por segundo. Cuando el aceite presenta mayor resistencia de fluir es denominado como un aceite de alta viscosidad. Los aceites de alta viscosidad son mayormente utilizados para soportar altas cargas y bajas velocidades de giro. Cuando el aceite presenta menor resistencia de fluir es denominado como un aceite de baja viscosidad. Los aceites de baja viscosidad son mayormente utilizados en cajas de rodamientos, turbinas, sistemas hidráulicos, cajas multiplicadoras de velocidad.

1.7.2. Índice de viscosidad

El índice de viscosidad es un valor que indica qué tan estable es la viscosidad de un lubricante frente a los cambios de temperatura. Se considera un alto índice de viscosidad cuando la viscosidad del lubricante cambia poco cuando sube o baja la temperatura, en cambio se considera un bajo índice de viscosidad cuando la viscosidad de un lubricante cambia mucho cuando sube o baja la temperatura.

Al momento de seleccionar un lubricante es importante considerar su índice de viscosidad, ya que, si este parámetro no se evalúa puede causar fallas prematuras en los equipos, degradación del aceite y pérdida de eficiencia, lo cual puede generar contacto metal con metal al interior de los equipos.

1.7.3. Número de ácido total

El número de acidez total (TAN) es la medida de componentes orgánicos ácidos que se encuentran en los aceites lubricantes. La acidez se expresa como un valor medido en miligramos de hidróxido de potasio (mg KOH/g) necesarios para neutralizar los ácidos por cada gramo de aceite. El TAN es la medida que representa el grado de degradación causada por los ácidos presentes en los aceites.

1.7.4. Oxidación

La oxidación en los aceites lubricantes es un proceso de descomposición gradual. Esto sucede cuando el aceite está expuesto al aire, catalizadores metálicos (cobre por desgaste de rodamientos y compuestos ferrosos) alta temperatura, humedad, polvo y agentes contaminantes. Este conjunto de exposiciones reduce la durabilidad del aceite debido a la degradación térmica y el envejecimiento que provoca cambios en el aceite. La oxidación se mide en absorbancia por milímetro (Abs/mm), la oxidación evita que los aditivos del aceite funcionen correctamente y causa la formación de ácidos, aumenta la viscosidad debido a la formación de barnices, lodos y sedimentos en el aceite. La velocidad con la que se oxida el aceite depende de la calidad y el tipo de aceite básico, así como el paquete de aditivos que tienen los aceites minerales. Por otra parte, los aceites sintéticos de polialfaolefinas tienen una mejor estabilidad a la oxidación, lo que permite que estas puedan operar a temperatura ligeramente más altas que los aceites minerales. La regla general es que cada 10°C de incremento de temperatura la velocidad de oxidación del aceite se duplica.

1.7.5. Punto de fluidez

El punto de fluidez es la temperatura más baja a la que el aceite fluye por gravedad. Esta característica del aceite permite saber si el aceite se podrá utilizar confiando en el valor de la densidad. El punto de fluidez es a 3°C por encima de la temperatura a la que el aceite no muestra movimiento cuando se mantiene horizontalmente durante 5 segundos.

1.7.6. Punto de inflamación

El punto de inflamación es la temperatura más baja a la cual el vapor de los aceites puede inflamarse momentáneamente o formara una flama cuando una fuente de ignición pase sobre este.

1.7.7. Demulsibilidad

Es la capacidad del aceite para separarse del agua, es un importante factor de los aceites lubricantes. Los efectos del agua en el aceite son riesgosos ya que al haber un aceite emulsionado (cuando se mezcla el agua con el aceite) pueden causar daños a las superficies de la maquinaria, daños en los filtros de aceite, pérdida de propiedades químicas del aceite y detenciones inesperadas en las maquinas industriales. Existen tres estados del agua en el aceite, disuelta, libre y emulsionada. El agua disuelta se presenta cuando las moléculas están dispersas por el aceite sin mezclarse. Cuando la cantidad de agua incrementa en el aceite este comienza a provocar la emulsión. El agua libre es el agua que se separa del aceite y este no se mezcla, sino más bien se va al fondo del estanque, vasos de drenaje y/o depósitos.

1.8. LABORATORIO

Los laboratorios de análisis de aceite son equipos donde se realizan pruebas y análisis físicas y químicas para evaluar la calidad, composición y propiedades de los aceites lubricantes. Existen diversos tipos de laboratorios algunos son instalaciones físicas y otros son laboratorios portátiles. Uno de los laboratorios portátiles es el analizador minilab 53.

1.9. MINILAB 53

El minilab 53 es un laboratorio in situ de análisis de aceite que permite detectar la mayoría de los problemas relacionados con los lubricantes industriales y que están relacionado con compresores, cajas de rodamientos, descansos, turbinas, estanques de aceite, unidades hidráulicas, entre otros equipos industriales.



Figura 1-7. Minilab 53.

Fuente: Laboratorio División Mecánica, Enap Refinerías Biobío.

Las ventajas del analizador minilab 53 es que al ser un laboratorio portátil este se puede trasladar a la ubicación solicitada por necesidad de los clientes que desean analizar sus máquinas industriales. El análisis de aceite da información temprana de desgaste de las máquinas e identifica la causa raíz del problema, lo cual evita fallas catastróficas y reduce los costos de mantenimiento. La principal ventaja de este tipo de analizador es que el tiempo de espera asociado con el envío de muestras de aceites al minilab 53 permite la toma de decisiones inmediatas, ya que, al encontrarse en el interior de la planta industrial evita que estas muestras sean enviadas a los laboratorios que se encuentran en zonas lejanas y que al recibir el informe con los resultados de los análisis sea tardío y por tanto riesgoso para los equipos del cliente.

Existen parámetros claves que el analizador minilab 53 puede medir lo cual se puede ver en la siguiente tabla:

Tabla 1-3. Parámetros claves que mide analizador Minilab 53.

	PARAMETRO	Conteo Partículas y Ferroso METODO ASTM D7596	Viscosidad METODO ASTM WK52894	Químico METODO ASTM D7889
Contaminación 	Conteo de Partículas y códigos ISO	✓		
	Conteo partículas no metálicas, distribución e imágenes	✓		
	Boro, Calcio, Sodio Litio y Potasio			
	Agua			✓
Química 	Viscosidad		✓	
	Número Ácido Total (TAN)			✓
	Oxidación			✓
	Número Básico Total (TBN), Oxidación, Nitración y Sulfatación para aceites de motor			✓
	Cobre, Cromo, Boro, Magnesio, Calcio, Bario, Cinc, Silicio, Sodio, Molibdeno y Fósforo			
Desgaste 	Imágenes de partículas de desgaste, conteo y distribución	✓		
	Contenido total de Fe, ppm	✓		
	Conteo de partículas ferrosas y distribución por tamaño	✓		

Fuente: Catálogo de laboratorio minilab series.

1.9.1. Analizador químico de condición de aceite fluidscan 1100

El analizador utiliza tecnología de espectrometría infrarroja, la cual proporciona una medición del número de ácido total (TAN), oxidación por infrarrojo (IR), TBN, agua, glicol, hollín, agotamiento de aditivos. Este equipo proporciona una medición cuantitativa directa de cómo se encuentra el estado del aceite, también determina cuando es necesario realizar un mantenimiento del aceite debido a la degradación de la composición química o por contaminación por otros agentes como agua, producto del proceso o el uso de un aceite incorrecto y agotamiento de aditivos



Figura 1-8. Analizador químico.
Fuente: Catálogo de laboratorio minilab series.

1.9.2. Analizador de partículas lnq 230

El analizador de partículas LNQ 230 es un instrumento que realiza el conteo de partículas de acuerdo con la norma ISO 4406:99 (Estándar para reportar el nivel de contaminación sólida en los aceites) para evaluar la calidad de limpieza del aceite y reportar la cantidad de partículas mayores de 4, 6 y 14 micras, determina el contenido de hierro y partículas ferrosas en la muestra en ppm/ml.



Figura 1-9. Analizador de partículas.
Fuente: Catálogo de laboratorio minilab series.

1.9.3. Viscosímetro spectrovisc q3000

Es un viscosímetro cinemático portátil que determina la viscosidad del lubricante a 40°C y presenta los resultados en centistokes. El equipo puede medir hasta una viscosidad máxima de 700 centistokes, por tanto, puede abarcar gran parte de los aceites lubricantes utilizados en los equipos industriales.



Figura 1-10. Viscosímetro.
Fuente: Catálogo de laboratorio minilab series.

1.10. NORMA ISO 3448

Esta norma establece un sistema de clasificación basado en la viscosidad de los aceites. También especifica diferentes clases de viscosidad que se indican con un número que representa la viscosidad en mm²/s (centistokes) a 40°C y muestra límite mínimo y máximo de viscosidad.

Tabla 1-4. Viscosidades según norma ISO 3448.

ISO Viscosity Grade	Midpoint Kinematic Viscosity mm ² /s at 40°C (104°F)	Kinematic Viscosity Limit mm ² /s at 40°C (104°F) Minimum	Kinematic Viscosity Limit mm ² /s at 40°C (104°F) Maximum
ISO VG 2	2.2	1.98	2.42
ISO VG 3	3.2	2.88	3.52
ISO VG 5	4.6	4.14	5.06
ISO VG 7	6.8	6.12	7.46
ISO VG 10	10	9.00	11.0
ISO VG 15	15	13.5	16.5
ISO VG 22	22	19.8	24.2
ISO VG 32	32	29.8	35.2
ISO VG 46	46	41.4	50.6
ISO VG 68	68	61.2	74.8
ISO VG 100	100	90.0	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1000	1000	900	1100
ISO VG 1500	1500	1350	1650
ISO VG 2200	2200	1980	2420
ISO VG 3200	3200	2880	3520

Fuente: Noria Latín América.

CAPÍTULO 2: ESTUDIO DEL CASO

2. ESTUDIO DEL CASO

2.1. ENAP REFINERIAS BIOBÍO

Enap Refinerías Biobío se encuentra ubicada en la comuna de Hualpén de la provincia de Concepción. La refinería cuenta con ocho plantas denominadas divisiones y cada una de ellas cumple una función específica y estratégica para el éxito de las operaciones. La división Coquización retarda (COKER) consta de ocho subdivisiones. El equipo que se mencionara para el estudio de nuestro se encuentra en la subdivisión planta de hidrotratamiento de diésel (HDT).



Figura 2-1. Planta COKER (Izquierda) y planta HDT (Derecha).
Fuente: Google maps.

2.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PLANTA HDT

Los productos generados por la planta Coker, no son comerciales sin un previo tratamiento, ya que contiene un alto contenido de sustancias químicas compuestas de hidrógeno y carbono, combinado con ciertas cantidades de azufre y nitrógeno.

Es por esta razón, que los productos Diesel y Nafta provenientes de la planta de COKER son enviadas a planta HDT, donde a través de un proceso le son retiradas las sustancias químicas contaminantes y se logra obtener un Diesel y Nafta de alta calidad. Al finalizar el proceso los productos obtenidos son enviados a otras plantas, donde se almacenan para añadir aditivos finales que permitan su comercialización. Otra parte de los productos obtenidos son enviados como carga a otras divisiones para ser utilizadas como parte del proceso productivo.

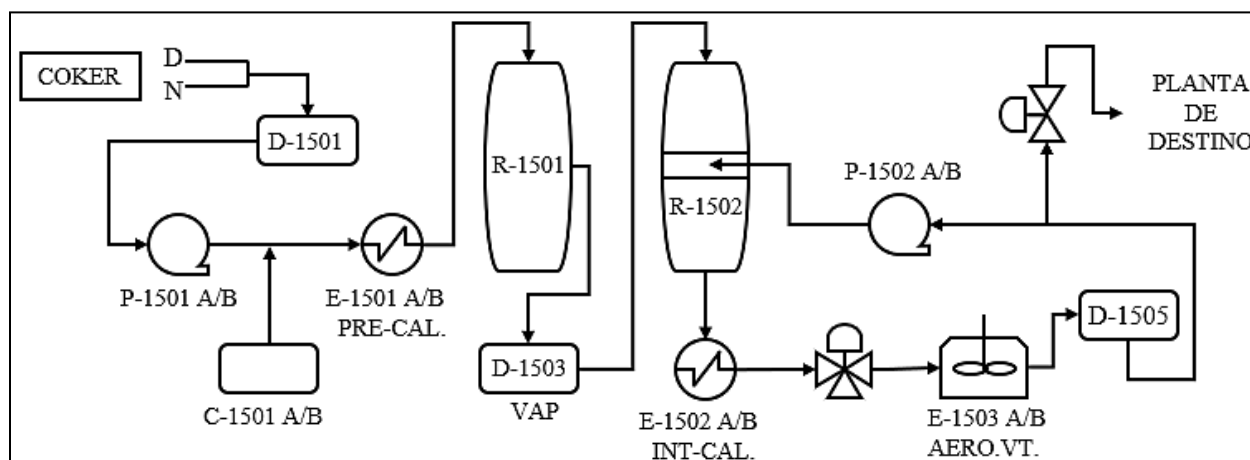


Figura 2-2. Proceso a grandes rasgos de planta HDT.
Fuente: Manual de operaciones, planta HDT.

Tabla 2-1. Listado de acumuladores.

ACUMULADORES						
Nº Equipo	Descripción	Tipo	Dimensión diám por largo	Temp °C	Presión kg/cm ²	Aislación
D1501	Acumulador de carga	Horiz.	2500 x 7500	50	3	NO
D1503	Vaporizador de entrada R1502	Vert.	1500 x 3600	355	63.0	SI
D1505	Separador de Alta Presión	Horiz.	2400 x 7500	50	57.1	NO

Fuente: Manual de operaciones planta HDT.

Tabla 2-2. listado de Intercambiadores de calor.

INTERCAMBIADORES							
Equipo	Descripción	Carcaza		Tubos		Pº Operación	
		Entra	Sale	Entra	Sale	Carcaza	Tubos
		°C		°C		kg/cm ²	
E1501 A/B	Alimentación a 1º Reactor/Efluente de 2º Reactor.	58	240	385	138	67	60
E1502 A/B	H2 reciclo descarga C1502/Efluente 2º Reactor.	66	315	385	219	66,5	60
E1503	Aerocondensador (son 3) efluente 2º Reactor.			150	50		57,6

Fuente: Manual de operaciones planta HDT.

Tabla 2-3. Listado de reactores.

REACTORES				
Equipo	Descripción	Diferencia Tº (°C)		Presión
		Entra	Sale	kg/cm ²
R1501	Reactor de Hidrogenación, hidrogena las Diolefinas a Olefinas	240	264	65
R1502	Reactor de Hidrotratamiento, satura las Olefinas y transforma los sulfuros en H ₂ S y el N ₂ en Amoniaco.	320	385	63

Fuente: Manual de operaciones planta HDT.

Tabla 2-4. Listado de bombas y compresores.

BOMBAS Y COMPRESORES						
Equipo	Descripción	Succión		Descarga	Flujo	Pot.
		Temp.	Presión	Presión	m ³ /d	KW
C1501 A/B	Compresor de H2 de make - up	32	27.5	68.5		305
P1501 A/B	Alimentación al 1º Reactor	50	3.3	72.7	1157	250
P1502 A/B	Líquido Quench al 2º Reactor	50	57.4	69.8	166	11

Fuente: Manual de operaciones planta HDT.

2.3. EQUIPO P1502-B

El equipo P-1502-B está relacionado de forma directa con el proceso realizado por el reactor R1502. Debido a la alta temperatura de reacción el R1502, tiene dos camas para su proceso y entre ambas camas se inyecta un hidrocarburo líquido para refrigerar (quench). El líquido de quench es obtenido desde el separador de alta presión D-1505, mediante la succión de las bombas de P1502 A/B para luego ser impulsadas hacia la parte media del reactor.

La bomba P-1502-B funciona 24 horas al día, por tanto, su función es clave para que el reactor R1502 pueda ejecutar su proceso, con temperaturas dentro de los rangos de seguridad establecidos.

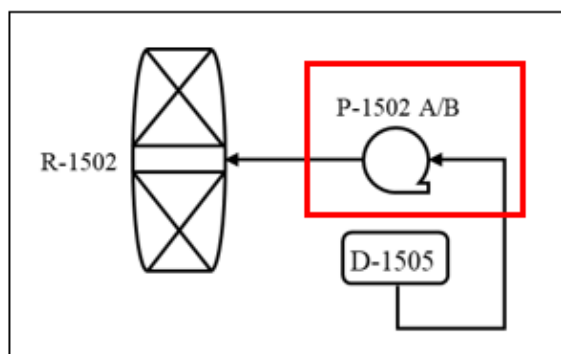


Figura 2-3. Función de bomba P-1502-B.

Fuente: Manual de operaciones planta HDT.



Figura 2-4. Reactor R1502 (izquierda) y reactor R1501 (derecha).
Fuente: Levantamiento fotográfico de planta HDT, Enap Biobío.



Figura 2-5. Acumulador D1505.
Fuente: Levantamiento fotográfico de planta HDT, Enap Biobío.



Figura 2-6. Bomba P1502-B (Izquierda) y P1502-A (Derecha).
Fuente: Levantamiento fotográfico de planta HDT, Enap Biobío.

El equipo P1502-B se compone principalmente de tres equipos rotatorios:

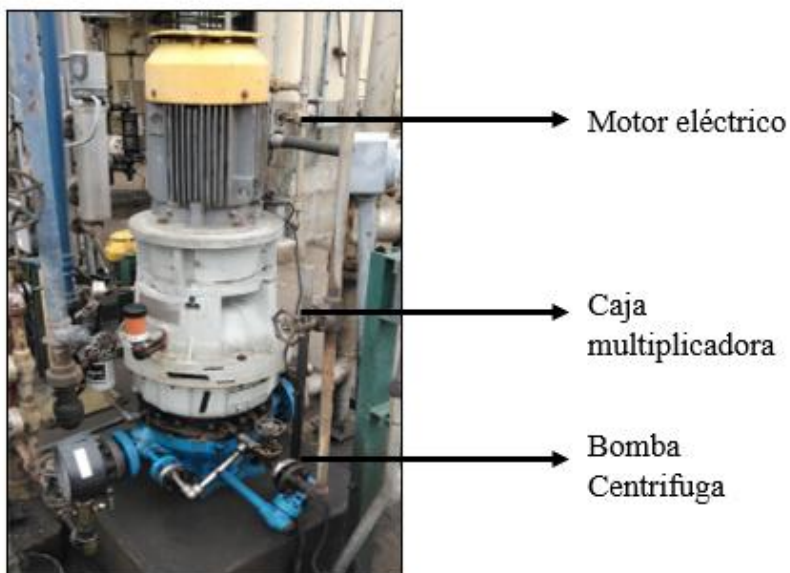


Figura 2-7. Equipo P-1502-B.
Fuente: Levantamiento fotográfico de planta HDT, Enap Biobío.

2.4. MOTOR ELECTRICO

El motor eléctrico es quien conduce la energía mecánica de rotación hacia la caja multiplicadora. Al inspeccionar el motor eléctrico en terreno y revisar su ficha técnica, se logra obtener los siguientes datos:

Tabla 2-5. Datos de motor eléctrico P1502-B.

Marca	AEG	Eficiencia	Carga completa 90 %
Modelo	AM160ML2Y9		3/4 carga 90 %
Año de puesta en servicio	1996		1/2 carga 88%
Amperaje	17.5	Factor de potencia	Carga completa 0.86
Amperaje en servicio	24		3/4 carga 0.83
Voltaje	380		1/2 carga 0.75
HP	15 Kw	Rodamientos	Rígidos de bolas, Sellados
R.P.M	2930	Peso	97 Kg

Fuente: Ficha técnica y placa motor.

2.5. CAJA MULTIPLICADORA

La caja multiplicadora es un sistema de engranajes que recibe una velocidad de entrada y aumenta la velocidad de salida, para este caso la recibe del motor eléctrico. La velocidad recibida por el motor es 2930 rpm y la velocidad de salida de esta caja multiplicadora es de 7411 rpm.

Al inspeccionar la caja multiplicadora en terreno y revisar su ficha técnica, se logra obtener los siguientes datos:

Tabla 2-6. Datos de caja multiplicadora P1502-B.

Marca	Sundyne	Temperatura interna	76°C
Modelo	LMV - 311	Temperatura externa	71°C
Año de puesta en servicio	1996	Temperatura filtro de aceite	74°C
R.P.M Entrada	2930	HP MAX	200
R.P.M Salida	7411	Presión de aceite	1.2 Bar

Fuente: Ficha técnica y placa del motor eléctrico.

La caja multiplicadora es utilizada para aumentar la velocidad de rotación del impulsor de la bomba centrífuga. Las principales razones son:

- a) Al aumentar la velocidad de rotación del impulsor, mejora la eficiencia hidráulica de la bomba, ya que, esta podrá impulsar más hidrocarburo con menos energía.
- b) Al aumentar la velocidad de rotación del impulsor, aumentara la presión y el caudal de la bomba.
- c) El impulsor de la bomba está diseñado para trabajar a altas velocidades, por tanto, si no estuviera la caja multiplicadora, la velocidad del motor no alcanzaría a cubrir las necesidades del proceso.

2.5.1. Sistema de lubricación

El sistema de lubricación de la caja multiplicadora consiste en cuatro componentes:

- a) Filtro de aceite
- b) Cáster (sumidero) de la caja de engranajes
- c) Intercambiador de calor del aceite lubricante

d) Bomba interna de lubricación

Según el manual de operación, el principio de cómo se lubrica el sistema es el siguiente: “El aceite se succiona del cárter con la bomba de aceite, y luego se hace circular por los pasadizos internos hasta un múltiple instalado en el exterior. El aceite luego circula a través del intercambiador de calor, el filtro, y retorna a la caja de engranajes. Luego de pasar por los rodamientos y cojinetes, el aceite drena y vuelve al cárter”.

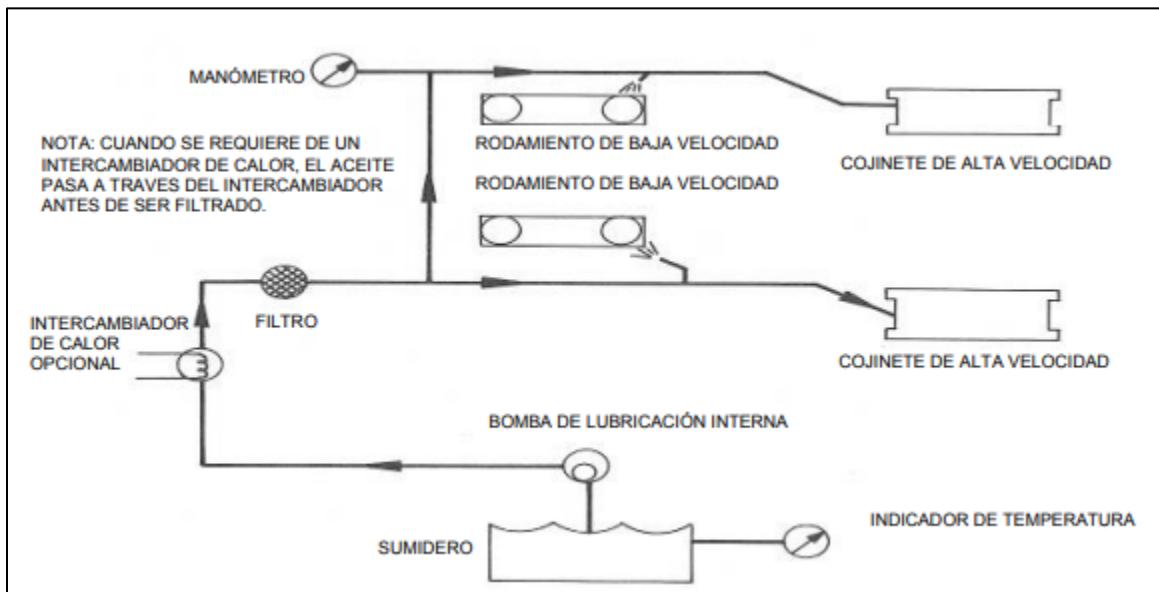


Figura 2-8. Esquema del sistema de lubricación.
Fuente: Manual de operaciones de la bomba Sundyne LMV-311.

2.5.2. Filtro de aceite

El filtro de aceite cumple la función de retener la mayor cantidad de impurezas existentes en el aceite, para que este pueda circular de forma segura por los componentes internos del equipo, así evitando las posibles fallas por contaminación de particulados y desgaste prematuro.

Características del filtro de aceite

Marca: Sundyne

Modelo: PN 22-362

Capacidad de retención: 5 micras con una beta de 1000.

(la beta 1000 significa 99,9 % de eficacia real)

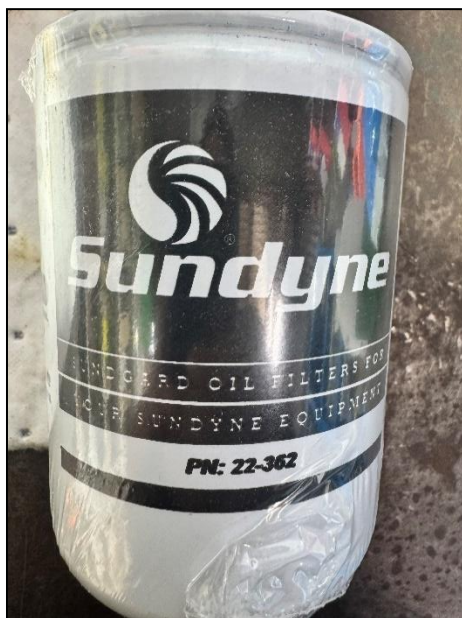


Figura 2-9. Filtro de aceite de caja multiplicadora.
Fuente: Levantamiento fotográfico bodega de lubricación, Enap Biobío.

2.5.3. Lubricante

El fabricante del equipo da su recomendación de las especificaciones del aceite lubricante que debe utilizar. Sin embargo, hay empresas que homologan el aceite por uno de similares especificaciones. La empresa que antes prestaba los servicios de lubricación, a los equipos rotatorios de la refinaría, homologo el aceite recomendado por el fabricante, el cual pide que el

aceite sea grado de viscosidad ISO 32 y el cambio de aceite sea cada 6 meses. La empresa escogió uno de la marca Royal Purple que cumple con las recomendaciones del fabricante de la caja multiplicadora y ejecuto el cambio de aceite en los equipos P1502-A y P1502-B.

Tabla 2-7. Recomendaciones de aceite lubricante.

Especificaciones recomendadas para el aceite lubricante de la caja de engranajes	
Gravedad API	28 – 37
Punto de fluencia, °C (°F)	-7 (20) máx.
Punto de Inflamación, °C (°F)	204 (400) mín.
Viscosidad, cST a 40°C	28,8 a 35,2 (150/180 SSU @ 100°F)
Viscosidad, CST a 100°C	5,2 (44 mín. SSU @ 210°F)
Viscosidad, Índice	95 mínimo
Grado de Viscosidad ISO	32
Color, Máximo	
ASTM D 1500	1 a 5
Número de Neutralización, Máximo	0,20
Protección contra herrumbre	Superarlo
ASTM D 665, A & B	
Demulsibilidad	
ASTM D 1401	
Minutos para 0 ml emulsión -	
A 54°C (130°F) luego de 30 min.	Superarlo
A 82°C (180°F) luego de 60 min.	Superarlo
Límites de espuma, ASTM D 892	
Secuencia 1	25/0 máx.
Secuencia 2	50/0 máx.
Secuencia 3	25/0 máx.
Nota: No se recomienda ningún otro aditivo.	

Fuente: Manual de operaciones de la bomba Sundyne LMV-311.

Tabla 2-8. Datos de aceite Royal Purple ISO 32.

PROPIEDADES TÍPICAS *	METODO ASTM	32
Viscosidad	D-445	
cSt @ 40°C		32
cSt @ 100°C		6,0
Índice de viscosidad	D-2270	135
Punto de inflamación, ° F	D-92	455
Punto de vertido °F (°C):	D-6892	-38
Prueba de corrosión de cobre	D-130	
3 Hrs @ 100 ° C		1A
24 Hrs @ 100 ° C		1A
Prueba de oxido	D-665	
Agua Fresca		PASO
Agua Salada		PASO
Prueba Espuma de Sec	D-892	
Inicial / FINAL / Tiempo (seg)		8/0/2
Prueba de	D-1401	
Minutos @ 130 ° F		5
Minutos @ 180 ° F		—
Cincinnati Millicron "A"	D-2070	
Corrosión / oxidación		PASO
Nivel de Limpieza ISO	ISO 4406	14/13/11
Oxidación en Aire Seco	D-2893	
312 Hrs @ 100°C,		
% Aumento de la viscosidad	0	0
Precip. No. (% de sólidos)	0	0
Densidad, libras / g	D-4052	7,04

Fuente: Ficha técnica de lubricantes Royal Purple.

2.6. BOMBA CENTRIFUGA

La bomba centrífuga es quien succiona el hidrocarburo desde el acumulador D-1505 y descarga lo descarga en el reactor R1502 para enfriar y mantener las temperaturas en los rangos de seguridad. Al inspeccionar la bomba centrífuga en terreno y revisar su ficha técnica, se logra obtener los siguientes datos:

Tabla 2-9. Datos bomba centrífuga P1502-B.

Marca	Sundyne	Presión de prueba hidroestática	153 Bar
Modelo	LMV - 311	Temperatura de operación	50° C
N° Serie	96116792	Fluido que transporta	Hidrocarburo Quench
Año de puesta en servicio	1996	Diam. de impulsión	124 mm
RPM	7411	Presión de succión	57 Kg/cm ²
Capacidad	57 M3/DIA	Presión de descarga	82 Kg/cm ²
Altura de la bomba	170 M	N° de etapas	1 impulsor / 1 difusor

Fuente: Ficha técnica y placa de la bomba.

2.7. **PROBLEMA DEL CASO**

La bomba del equipo P1502-B entra en mantenimiento correctivo por la falla en uno de sus sellos mecánicos. El mecánico asignado a la tarea aprovecha la instancia y realiza una inspección detallada de la caja multiplicadora, encontrando presencia de barniz en los componentes internos del equipo. Por tanto, decide llamar al servicio de lubricación para que pueda ver el estado en el que se encuentra el equipo. Al evaluar el estado en que se encuentra la caja multiplicadora y sus componentes se decide realizar un levantamiento fotográfico para evidenciar la anomalía encontrada, ya que, la acumulación de barniz puede ser un indicativo de que existe un problema con el aceite, lo cual afecta el desempeño y vida útil de los componentes internos del equipo.



Figura 2-10. Rodamiento con barniz adherido en aro exterior e interior.
Fuente: Levantamiento fotográfico en taller de mecánica, Enap Biobío.



Figura 2-11. Rodamiento con barniz adherido en aro exterior.
Fuente: Levantamiento fotográfico en taller de mecánica, Enap Biobío.



Figura 2-12. Rodamiento con barniz adherido en aro exterior.
Fuente: Levantamiento fotográfico en taller de mecánica, Enap Biobío.

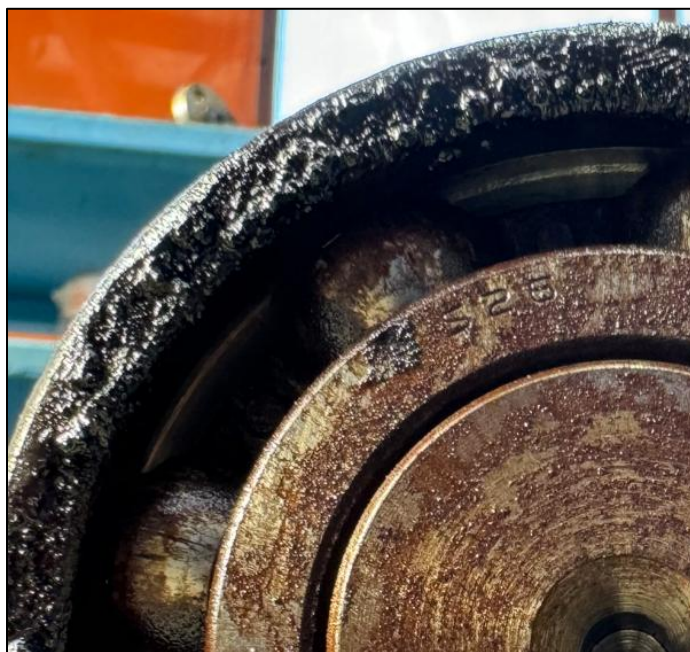


Figura 2-13. Rodamiento con barniz adherido en aro exterior e interior y en elementos rodantes.
Fuente: Levantamiento fotográfico en taller de mecánica, Enap Biobío.

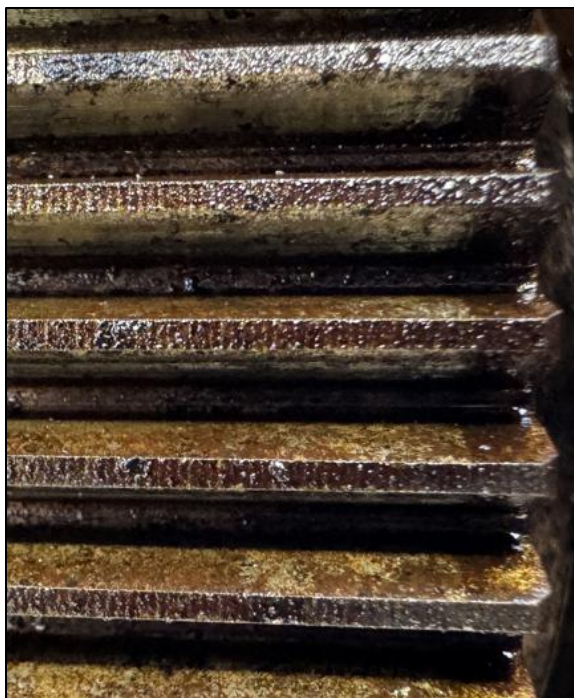


Figura 2-14. Engranaje con barniz adherido en cara, flanco y borde superior e inferior.
Fuente: Levantamiento fotográfico en taller de mecánica, Enap Biobío.



Figura 2-15. Bomba de lubricación interna de caja multiplicadora, se evidencia barniz adherido.
Fuente: Levantamiento fotográfico en taller de mecánica, Enap Biobío.

Al observar las condiciones en la que se encuentran los componentes internos del equipo, se decide realizar una encuesta para entrevistar a las distintas áreas que interactúan con cajas multiplicadoras tales como operaciones, mecánica y lubricación. Con el fin de obtener más información sobre las anomalías encontradas.

2.8. ENCUESTA

El propósito de esta encuesta es recopilar información, percepciones y conocimientos que tienen los profesionales del área de mantenimiento, área de operaciones y del servicio de lubricación de Enap refineries bio bio, respecto a las cajas multiplicadoras de velocidad y el desempeño del lubricante Royal purple ISO 32. Cabe destacar que no solo en la planta HDT existen cajas multiplicadoras, sino también los hay en las otras plantas que también utilizan el mismo lubricante. Los datos obtenidos servirán para evaluar el comportamiento del lubricante en almacenamiento y operación, identificar oportunidades de mejora y proponer recomendaciones que permitan optimizar la confiabilidad y rendimiento de los equipos lubricados con este aceite.

2.8.1. Enfoque y estructura de la encuesta

Para este estudio se consideran en el área de mantenimiento a técnicos mecánicos y supervisores de terreno, en el área de lubricación a técnicos lubricadores y supervisores de terreno, en el área de operaciones a operadores de planta y supervisores de planta que interactúan con el equipo. La encuesta se estructura en dos etapas:

Etapas 1: Información General

Cargo del encuestado: En este punto se puede seleccionar cual es el cargo que tiene el encuestado dentro de su empresa.

Hay opciones para supervisor de terreno, técnico mecánico, técnico lubricador, operador de planta, supervisor de planta y una opción para especificar otro tipo de cargo.

Experiencia Previa:

Esta etapa tiene como propósito recopilar información para identificar si el encuestado ha tenido experiencia en la manipulación del equipo y del lubricante, con opciones como siempre, a menudo, ocasionalmente, rara vez y nunca.

Propósito Principal de Interacción:

Esta etapa tiene como propósito recopilar información directa de los profesionales que interactúan, supervisan o realizan mantenimiento del equipo y su lubricante, con el fin de identificar factores técnicos, humanos y operativos que puedan influir en la calidad del lubricante y el desempeño del equipo. En esta sección el encuestado puede seleccionar múltiples opciones tales como realizar puesta en marcha del equipo, mantenimiento correctivo, verificación de nivel de lubricante y reposición, manipulación de bidones herméticos, cambios de lubricante y filtro de aceite, cambio de tambor del lubricante, inspección general del equipo.

Etapas 2: Percepciones

En esta etapa se evaluará las percepciones a través de preguntas que permite comprender como las personas entrevistadas interpretan el estado real de las cajas multiplicadoras y sus condiciones de lubricación. Esto será de ayuda como posible orientación para tomar decisiones más informadas y definir mejoras que permitan asegurar un mantenimiento más eficiente y una mayor confiabilidad operativa.

2.8.2. Resultados de la encuesta

Cargos de los encuestados:

La muestra de 50 personas estuvo compuesta por los siguientes encuestados:

Tabla 2-10. Cargos de personas encuestadas.

ÁREA DE OPERACIONES		ÁREA DE MECANICA		ÁREA DE LUBRICACION	
SUPERVISORES	6	SUPERVISORES	3	SUPERVISORES	3
OPERADORES	18	MECANICOS	12	LUBRICADORES	8

Fuente: Elaboración Propia.

Experiencia previa:

En la manipulación del equipo se obtuvieron los siguientes resultados: El 70% de los encuestados afirmó siempre manipular el equipo con motivos de puesta en marcha, mantenimiento preventivo, correctivo e inspecciones. El 15% lo ha manipulado a menudo, un 10% ocasionalmente y 5% rara vez.

Propósito de interacción:

En el propósito de interacción se obtuvieron los siguientes resultados: Un 48% indica que ha puesto en marcha el equipo, un 30 % indica que ha realizado mantenimiento correctivo, un 58% indica que verifica el nivel de lubricante y ha realizado rellenos con los bidones herméticos para recuperar el nivel, un 22% ha realizado cambios de lubricante y cambio de filtro de aceite, un 20% ha realizado el cambio de tambor vacío por un tambor lleno y un 90% realiza inspección general del equipo.

Preguntas para evaluar percepciones.

1. ¿Con qué frecuencia se interviene la caja multiplicadora para mantenimiento preventivo o correctivo por motivos de lubricación?

Resultado: Un 70% de los encuestados señala que realiza intervenciones diarias por motivo de mantenimiento preventivo, con actividades tales como inspecciones de nivel, rellenos, drenajes de lubricante, limpieza, entre otras tareas asociadas. Por otra parte, el 30% indica que interviene la caja multiplicadora solo cuando se ha emitido un aviso de mantenimiento correctivo del equipo.

2. ¿Durante las actividades de mantenimiento preventivo se ha observado formación de barniz, sedimentos u otros residuos en la caja multiplicadora?

Resultado: Un 80% de los encuestado señala que ha observado sedimento en el visor de nivel de aceite de la caja multiplicadora, lo cual, impide observar bien el nivel de aceite. Un 48% indica que en base al mismo problema del visor de nivel se ha detectado aumento de temperatura en el equipo, esto debido a bajo nivel de aceite o sobre nivel de aceite. Un 22% indica que al momento de drenar aceite de la caja multiplicadora para ver su estado se ha encontrado con sedimentos.

3. ¿Es frecuente encontrar formación de barniz, sedimentos u otros residuos en las cajas multiplicadoras durante el mantenimiento correctivo?

Resultado: Un 52% de los encuestados, indican que, cada vez que se abre una caja multiplicadora para realizar mantenimiento correctivo, encuentran formación de barnices en diferentes puntos del equipo. Un 48% indica que no participa en el mantenimiento correctivo, por tanto, no tiene información de si existe formación de barniz y sedimentos.

4. ¿Existe algún registro formal de reportes de mantenimiento relacionado con la aparición de barnices, sedimentos u otros en la caja multiplicadora?

Resultado: Un 36% de los encuestados, correspondientes a los mecánicos y supervisores del área de mecánica, así como a los supervisores del área de lubricación, indican que, solo existe avisos de lo encontrado vía correo hacia ingeniero de mantenimiento de Enap. Un 64% señala que no sabe si existen reportes formales.

5. ¿Se cuenta con un plan de análisis de lubricantes para evaluar el estado del aceite utilizado en las cajas multiplicadoras?

Resultado: Un 78% de los encuestados indica que desconoce si existe un plan de análisis en las cajas multiplicadoras y un 22% indica que no hay un plan de análisis para las cajas multiplicadoras.

6. Durante el drenaje de lubricante por mantenimiento preventivo, ¿se ha detectado degradación del aceite?

Resultado: Un 70% de los encuestados correspondiente al área de lubricación y operaciones, indica que ha encontrado degradación del aceite en más de 8 cajas multiplicadoras en diferentes plantas de proceso. Un 30% indica que no les corresponde ver en qué condiciones se encuentra el lubricante.

7. Al realizar los rellenos de lubricante, ¿se ha observado la presencia de sedimentos u otros residuos en el interior de los bidones herméticos?

Resultado: Un 70% de los encuestados correspondiente al área de operaciones y lubricación indican que ha encontrado sedimentos en el fondo de los bidones herméticos y que estos tienen aspecto de lodo. Un 30% correspondiente al área mecánica indica que ellos no manipulan los bidones herméticos.

8. ¿Se ha encontrado sedimentos en tambores vacíos al momento de reemplazarlos por uno nuevo?

Resultado: Un 22% de los encuestados correspondiente al área de lubricación, indica que, al retirar de la lubricantera un tambor vacío para reemplazarlo por uno nuevo, han observado sedimentos en el fondo del tambor. Un 78% correspondiente al área mecánica y operaciones indican que no realizan reemplazos de tambores.

9. ¿Se han detectado cambios en el comportamiento o desempeño del equipo que puedan asociarse a problemas de lubricación?

Resultado: Un 75% de los encuestados indican que, al ir a ver las condiciones de trabajo del equipo, han visualizado alzas de temperatura y baja presión de aceite en los manómetros. Un 25% de los encuestados indica que no se han detenido a observar los cambios de comportamiento y desempeño del equipo.

10. Pregunta si existen más equipos que han presentado problemas de generación de barnices, sedimentos u otros.

Resultado: Un 85% de los encuestados indican que, durante trabajos de mantenimiento y operaciones han encontrado sedimentos y barniz en cajas multiplicadoras de otras plantas de la refinería. Un 15% indica que no se han detenido a observar.

11. ¿Qué acciones o medidas recomienda para evitar la recurrencia de barnices, sedimentos u otros residuos al interior de la caja multiplicadora?

Respuesta: Un 48% correspondiente al área de operaciones indica que se debe hacer un estudio de porque el lubricante está generando baja presión de aceite y aumento de temperatura de los equipos, lo cual indican que debe estar asociado a la degradación del lubricante. Un 30% correspondiente al área de mecánica indica que se debe hacer seguimiento con análisis de aceite en los equipos que se utiliza el lubricante royal purple ISO 32 para lograr identificar desde que

momento el equipo comienza a generar barnices y sedimentos. Por último, un 22% correspondiente al área de lubricación indica que se debe evaluar la posibilidad de cambiar el lubricante por otro de mejor calidad.

12. Finalmente, solicita sugerencias o comentarios adicionales.

En este punto por parte de los supervisores de operaciones indican que años atrás se había utilizado el aceite royal purple ISO 32 para diferentes equipos dentro de sus plantas de proceso. Sin embargo, este lubricante comenzó a generar problemas en los instrumentos de los equipos, ya que, se generaban sedimentos que los tapaban y no permitían indicar correctamente sus variables de medición, lo cual, provocó la detención no programada de equipos por sistemas de seguridad. Este problema se informó y se cambió la marca del lubricante por uno de mayor calidad, lo cual solucionó el problema.

Por parte del área de mecánica indican que años atrás se comenzó a utilizar el lubricante royal purple ISO 32, ya que, el lubricante era de calidad y se logró obtener resultados de disminución en el consumo eléctrico de los equipos. Pero con el pasar del tiempo han notado que la calidad del lubricante ha ido bajando de manera drástica y ha estado generando daños en los componentes de algunos equipos de proceso.

Cuadro resumen de hallazgos:

Tabla 2-11. Resumen de hallazgos.

Elemento auditado	Hallazgo relevante
Condición del lubricante	Evidencia recurrente de sedimentos y barniz en cajas multiplicadoras.
Monitoreo de condición	Inexistencia de plan formal de análisis de aceite.
Desempeño operacional	Alzas de temperatura y baja presión de aceite reportadas en operación.
Manejo y almacenamiento	Presencia de sedimentos en bidones y tambores de lubricante.
Alcance del problema	Hallazgos repetidos en distintas plantas de proceso.
Lubricante en uso	Antecedentes operacionales negativos asociados a Royal Purple ISO 32.

Fuente: Elaboración Propia.

Conclusiones:

Al evaluar los resultados de la encuesta se puede determinar que existe una preocupación generalizada en las áreas de operaciones, mecánica y lubricación respecto al desempeño del lubricante royal purple ISO 32 utilizado en las cajas multiplicadoras. Existe una observación recurrente de sedimentos y barnices tanto en las cajas multiplicadoras como en bidones herméticos y tambores del lubricante. Por otra parte, se puede evidenciar que, durante el drenaje del lubricante en las cajas multiplicadoras, se ha detectado, que este se encuentra degradado, lo cual puede estar relacionado con alzas de temperatura y baja presión de aceite visualizadas durante rutina de inspección de los operadores de terreno.

Estos problemas afectan directamente la confiabilidad operacional. Además, se evidencia la ausencia de un plan formal de análisis de lubricantes, lo cual dificulta la detección temprana de degradación del aceite.

Según información de los encuestados, estos coinciden en que la calidad del lubricante ha disminuido con los años, lo cual ha ido generando fallas prematuras en instrumentos, equipos y han provocado detenciones no programadas.

Por tanto, se decide realizar un levantamiento fotográfico para evidenciar los problemas de sedimentos y barniz en cajas multiplicadoras, bidones herméticos y tambores del lubricante, identificar cuantas cajas multiplicadoras del mismo modelo y utilizan el mismo lubricante, investigar las causas de la degradación del lubricante a través de un análisis de causa raíz para identificar el origen del problema. Por otra parte, se investigará cuáles son las cajas multiplicadoras existentes al interior de la refinería que sean del mismo modelo y que utilicen el mismo lubricante.

2.9. LEVANTAMIENTO FOTOGRÁFICO



Figura 2-16. Almacenamiento de tambores de aceite.
Fuente: Levantamiento fotográfico bodega de lubricación, Enap Biobío.



Figura 2-17. Tambor de Royal Purple ISO 32 con sedimentos.
Fuente: Levantamiento fotográfico bodega de lubricación, Enap Biobío.



Figura 2-18. Bidón hermético de Royal Purple ISO 32 con sedimento.
Fuente: Levantamiento fotográfico bodega de lubricación, Enap Biobío.



Figura 2-19. Bidón hermético de Royal Purple ISO 32 con sedimento.
Fuente: Levantamiento fotográfico en terreno, Enap Biobío.



Figura 2-20. Caja multiplicadora con barniz adherido en visor.
Fuente: Levantamiento fotográfico en terreno, Enap Biobío.



Figura 2-21. Caja multiplicadora con barniz y sedimentos en su interior.
Fuente: Levantamiento fotográfico en taller mecánico, Enap Biobío.

Tabla 2-12. Cajas multiplicadoras modelo LMV – 311 en refinería.

Subdivisión	Objeto valor	Tag	Lubricante en uso	Criticidad
CCR	Caja multiplicadora	J-603	Royal purple ISO 32	C
CCR	Caja multiplicadora	J-671	Royal purple ISO 32	C
COK	Caja multiplicadora	P-1403-A	Royal purple ISO 32	B
COK	Caja multiplicadora	P-1403-B	Royal purple ISO 32	B
FCCU	Caja multiplicadora	J-160-C	Royal purple ISO 32	D
HDG	Caja multiplicadora	J-188-A	Royal purple ISO 32	B
HDG	Caja multiplicadora	J-188-B	Royal purple ISO 32	B
HDG	Caja multiplicadora	J-189-A	Royal purple ISO 32	B
HDG	Caja multiplicadora	J-189-B	Royal purple ISO 32	B
HDS1	Caja multiplicadora	J-904-A	Royal purple ISO 32	A
HDS1	Caja multiplicadora	J-904-B	Royal purple ISO 32	A
HDS1	Caja multiplicadora	J-916-A	Royal purple ISO 32	C
HDS1	Caja multiplicadora	J-916-B	Royal purple ISO 32	C
HDS2	Caja multiplicadora	J-1904	Royal purple ISO 32	B
HDS2	Caja multiplicadora	J-1916	Royal purple ISO 32	A
HDT	Caja multiplicadora	P-1502-A	Royal purple ISO 32	A
HDT	Caja multiplicadora	P-1502-B	Royal purple ISO 32	A
MHC	Caja multiplicadora	J-1205-A	Royal purple ISO 32	C
MHC	Caja multiplicadora	J-1205-B	Royal purple ISO 32	C
SPP	Caja multiplicadora	J-586	Royal purple ISO 32	C
SPP	Caja multiplicadora	J-586-S	Royal purple ISO 32	C
SPP	Caja multiplicadora	J-588	Royal purple ISO 32	C
SPP	Caja multiplicadora	J-588-S	Royal purple ISO 32	C
SPP	Caja multiplicadora	J-590	Royal purple ISO 32	C
SPP	Caja multiplicadora	J-590-S	Royal purple ISO 32	C
VIS	Caja multiplicadora	J-205-S	Royal purple ISO 32	C

Fuente: Matriz de lubricación Enap Refinerías Bio bio.

2.10. ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ

Para poder identificar la causa raíz del problema y dar recomendaciones que ayuden a eliminar o mitigar el problema, se decide utilizar el método de análisis 5 por qué. Este método nos permite desglosar progresivamente el problema hasta encontrar su origen real.

Problema principal identificado:

En la caja multiplicadora se detecta barniz y sedimentación en componentes.

Desarrollo de 5 por qué:

Tabla 2-13. Tabla cinco porqués.

¿Por qué hay presencia de barniz y sedimentos en las cajas multiplicadoras?	¿Por qué el lubricante se está degradando?	¿Por qué no se evaluó las condiciones reales de trabajo al seleccionar el lubricante?	¿Por qué no hubo un análisis de aceptación o rechazo del lubricante?	¿Por qué no hubo un método de evaluación del lubricante en uso?
El lubricante se está degradando dentro de las cajas multiplicadoras.	Las condiciones reales de trabajo de la caja multiplicadora exceden la capacidad del lubricante seleccionado.	Solo se evaluó las especificaciones del lubricante recomendadas por el fabricante al momento de seleccionar el aceite y no hubo un análisis de aceptación o rechazo de su rendimiento.	No hubo un proceso formal de evaluación que permitiera aceptar el lubricante en uso.	No se implementó un monitoreo que permitiera validar el desempeño real del lubricante.

Fuente: Elaboración Propia.

Conclusiones:

Al evaluar el 5 por qué, se puede evidenciar que la presencia de barniz y sedimentos se generó porqué las condiciones reales de trabajo exceden las capacidades del lubricante actualmente utilizado. Esta situación no fue detectada a tiempo y no hubo una medida correctiva, ya que, la ausencia de un sistema de monitoreo no permitió validar el lubricante en uso, dando como resultado la degradación del lubricante, afectando la confiabilidad de los equipos involucrados.

En base a lo anterior, se recomienda realizar las siguientes acciones en los equipos P1502-A y P1502-B, ya que, ambos equipos trabajan para el mismo proceso y bajo las mismas condiciones de carga:

1. Tomar muestras de aceite al equipo P1502-A con una frecuencia de 30 días y enviar la muestra al laboratorio para que sea analizada, ya que, trabaja bajo las mismas condiciones que el equipo P1502-B.
2. Tomar una muestra de aceite a un tambor nuevo de la marca Royal Purple ISO 32 y enviar la muestra al laboratorio para ser analizada.
3. Se recomienda realizar una prueba piloto en el equipo P1502-B, con un nuevo lubricante sintético que cumpla con las especificaciones del fabricante de la caja multiplicadora, con el fin de evaluar su desempeño bajo condiciones de trabajo reales.
4. Tomar una muestra de aceite al tambor del lubricante que se va a utilizar en la prueba piloto, para así evidenciar su condición.
5. Realizar análisis de aceite al equipo P1502-B cuando este se encuentre en servicio con una frecuencia de 30 días, para evidenciar los resultados obtenidos de la prueba piloto.
6. Comparar el rendimiento de los lubricantes de los equipos P1502-A y P1502-B.

CAPÍTULO 3: PLANTEAMIENTO DE SOLUCIÓN

3. PLANTEAMIENTO DE SOLUCIÓN

3.1. AUTORIZACION PARA PRUEBA PILOTO

La gestión para solicitar la autorización para la prueba piloto de un nuevo lubricante sintético se canalizo vía correo a través del Inspector de lubricación de Enap refinерías bio bio. Donde se informó las condiciones del equipo y la presencia de barniz y sedimentos.

Esta información fue levantada a la jefatura del área mecánica quien solicito los siguientes pasos a seguir:

1. Solicitar apoyo a ingeniero en confiabilidad para búsqueda de nuevo lubricante.
2. Realizar un reporte de comparación.
3. Realizar una prueba con un equipo para ver resultados.

Cabe destacar que Enap refinерías bio bio no cuenta con un formulario para solicitar autorización para realizar cambios de marcas de lubricantes, solo se debe informar si existe una condición que afecte a la confiabilidad del equipo y esto se autoriza vía correo.

3.2. SELECCIÓN DE ACEITE PRUEBA P1502-B

La selección de lubricantes se debe realizar después de verificar las recomendaciones especificadas por el fabricante del equipo. Hay fabricantes que recomiendan un lubricante en específico, como también existen otros fabricantes que solo dan una recomendación de las propiedades y viscosidad del aceite que se debe aplicar.

Para el caso de la caja multiplicadora del equipo P1502-B, el fabricante solo da una recomendación.

Por tanto, el ingeniero en confiabilidad reviso los catálogos de aceites de la marca Mobil y selecciono el lubricante Mobil SHC 624, ya que, presenta una muy buena resistencia a la

oxidación y las altas temperaturas, tiene un índice de viscosidad alto el cual puede extender la frecuencia de cambios de aceite y como también ahorrar energía. Tiene un color anaranjado el cual permite una correcta inspección visual de nivel de aceite.

Tabla 3-1. Datos de aceite Mobil SHC 624 ISO 32.

Propiedades y especificaciones	
Propiedad	624
Grado	32
Apariencia, AMS 1738	Anaranjado
Prueba de corrosión con tira de cobre, 24 h, 121 C, clasificación, ASTM D130	1B
Densidad @ 60 F, kg/m ³ , ASTM D4052	0.85
Emulsión, tiempo hasta 37 ml de agua, 54 C, min, ASTM D1401	10
Emulsión, tiempo hasta 37 ml de agua, 82 C, min, ASTM D1401	
Prueba de desgaste FE8, desgaste del rodillo V50, mg, DIN 51819-3	
Desgaste abrasivo FZG, etapa de carga de falla, A/8,3/90, ISO 14635-1(mod)	11
Punto de inflamación, copa abierta Cleveland, °C, ASTM D92	236
Viscosidad cinemática @ 100°C, mm ² /s, ASTM D445	6.3
Viscosidad cinemática @ 40°C, mm ² /s, ASTM D445	32
Punto de fluidez, °C, ASTM D5950	-57
Prueba de oxidación en recipiente a presión giratorio, min., ASTM D2272	2500
Características de prevención de la herrumbre; procedimiento B, ASTM D 665	Pasa
Estabilidad a la oxidación, horas para N° de acidez de 2.0 mg KOH/g, ASTM D943	10000+
Índice de viscosidad, ASTM D2270	148

Fuente: Ficha técnica de lubricantes Mobil.

3.3. MUESTRA DE ACEITES ALMACENADOS

Con el objetivo de garantizar la transparencia del aceite Royal Purple ISO 32 y Mobil SHC 624, se realizó una toma de muestra de aceite a partir de contenedores nuevos, con el fin de analizar su comportamiento químico. Así se podrá tener antecedente al momento de determinar, que lubricante tiene mejor desempeño durante su almacenamiento.

Para esto, se utilizará el laboratorio dispuesto por división mecánica de Enap refinерías Biobío, Minilab 53.



Figura 3-1. Aceite Royal Purple (izquierda) y Mobil SHC 624 (derecha).
Fuente: Elaboración propia.

3.3.1. Resultados obtenidos del análisis

Al tener los resultados de las muestras del aceite Royal Purple ISO 32 y Mobil SHC 624, tomados desde contenedores de aceite nuevo, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 3-2. Resultado de análisis de aceite Mobil SHC 624 ISO 32.

LUBRICANTE NUEVO: Mobil SHC 624 ISO 32			
Contaminación Código ISO 4406		Agua (PPM)	32
ISO 4406 (>4µm)	16	TAN (mg KOH/g)	0
ISO 4406 (>6µm)	13	Oxidación (abs/0.1mm)	1.58
ISO 4406 (>14µm)	12	Viscosidad (40°C cSt)	35

Fuente: Laboratorio División Mecánica, Enap Refinerías Biobío.

Tabla 3-3. Resultado de análisis de aceite Royal purple ISO 32.

LUBRICANTE NUEVO: Royal Purple ISO 32			
Contaminación Código ISO 4406		Agua (PPM)	264
ISO 4406 (>4µm)	19	TAN (mg KOH/g)	0,5
ISO 4406 (>6µm)	15	Oxidación (abs/0.1mm)	7,13
ISO 4406 (>14µm)	11	Viscosidad (40°C cSt)	37,7

Fuente: Laboratorio División Mecánica, Enap Refinerías Biobío.

Los límites activados para los rangos de alarma en código de limpieza establecido por la división mecánica es >4 µm: 16 / >6 µm: 14 / >14 µm: 11

En base a los resultados obtenidos podemos determinar:

- a) El aceite Mobil SHC 624 ISO 32 presenta sus valores dentro de los rangos aceptables.
- b) El aceite Royal Purple ISO 32 presenta un código de limpieza ISO elevado. Hay presencia de agua. Viscosidad se encuentra elevada sobre el límite máximo según la norma ISO 3448 (puede ser por la presencia de agua en el aceite) Presenta un grado de oxidación elevada (puede ser por la presencia de agua y contaminación en el aceite)

3.4. **CAMBIO DE ACEITE P1502-B**

Antes de comenzar las pruebas del aceite MOBIL SHC 624, se informa a la división mecánica que se realizaran pruebas con el equipo P1502-B cuando sea solicitado el normalizado de aceite en terreno.

Para realizar el cambio de aceite se debe preparar los siguientes materiales:

Tabla 3-4. Insumos para realizar cambio de aceite.

Insumos	Cantidad
Bidón con 10 litros de aceite con bomba manual integrada	1
Filtro de aceite	1
Paños de limpieza	2
Aspersor con solvente	1
Caja de herramientas	1
Balde vacío	1

Fuente: Elaboración propia.

Al finalizar la actividad se deja el equipo bajo observación para verificar que no existan fugas de aceite.

3.5. SEGUIMIENTO ESTADO DE ACEITE

Con motivo de ver el comportamiento físico y químico de los lubricantes utilizados en las cajas multiplicadoras de las bombas P1502-A y P1502-B. se realizó el cambio de aceite y filtro del equipo P1502-A para que ambos equipos tuvieran bajo el mismo régimen de seguimiento.

Por tanto, ambos equipos comenzaron a ser evaluados con aceites nuevos en sus cajas multiplicadoras y se realizaron análisis de aceite durante 5 meses de corrido después del cambio de aceite.

3.5.1. Resultados del aceite royal purple ISO 32

Tabla 3-5. Resultado de análisis de aceite Royal purple ISO 32, Mes Agosto.

LUBRICANTE EN USO: Royal Purple ISO 32			MES DE MUESTRA Agosto
Contaminación Código ISO 4406		Agua (PPM)	260
ISO 4406 (>4µm)	20	TAN (mg KOH/g)	0,58
ISO 4406 (>6µm)	19	Oxidación (abs/0.1mm)	7,8
ISO 4406 (>14µm)	15	Viscosidad (40°C cSt)	33,2

Fuente: Laboratorio División Mecánica, Enap Refinerías Biobío.

Tabla 3-6. Resultado de análisis de aceite Royal purple ISO 32, Mes Septiembre.

LUBRICANTE EN USO: Royal Purple ISO 32			MES DE MUESTRA Septiembre
Contaminación Código ISO 4406		Agua (PPM)	255
ISO 4406 (>4µm)	21	TAN (mg KOH/g)	0,81
ISO 4406 (>6µm)	20	Oxidación (abs/0.1mm)	8,2
ISO 4406 (>14µm)	17	Viscosidad (40°C cSt)	24,2

Fuente: Laboratorio División Mecánica, Enap Refinerías Biobío.

Tabla 3-7. Resultado de análisis de aceite Royal purple ISO 32, Mes Octubre.

LUBRICANTE EN USO: Royal Purple ISO 32			MES DE MUESTRA Octubre
Contaminación Código ISO 4406		Agua (PPM)	253
ISO 4406 (>4µm)	22	TAN (mg KOH/g)	0,86
ISO 4406 (>6µm)	21	Oxidación (abs/0.1mm)	8,5
ISO 4406 (>14µm)	19	Viscosidad (40°C cSt)	18,1

Fuente: Laboratorio División Mecánica, Enap Refinerías Biobío.

Tabla 3-8. Resultado de análisis de aceite Royal purple ISO 32, Mes Noviembre.

LUBRICANTE EN USO: Royal Purple ISO 32			MES DE MUESTRA Noviembre
Contaminación Código ISO 4406		Agua (PPM)	260
ISO 4406 (>4µm)	21	TAN (mg KOH/g)	0,5
ISO 4406 (>6µm)	19	Oxidación (abs/0.1mm)	7,2
ISO 4406 (>14µm)	16	Viscosidad (40°C cSt)	33,2

Fuente: Laboratorio División Mecánica, Enap Refinerías Biobío.

Tabla 3-9. Resultado de análisis de aceite Royal purple ISO 32, Mes Diciembre.

LUBRICANTE EN USO: Royal Purple ISO 32			MES DE MUESTRA Diciembre
Contaminación Código ISO 4406		Agua (PPM)	281
ISO 4406 (>4µm)	22	TAN (mg KOH/g)	0,82
ISO 4406 (>6µm)	20	Oxidación (abs/0.1mm)	8,3
ISO 4406 (>14µm)	17	Viscosidad (40°C cSt)	24,4

Fuente: Laboratorio División Mecánica, Enap Refinerías Biobío.

3.5.2. Resultados del aceite MOBIL SHC 624 ISO 32

Tabla 3-10. Resultado de análisis de aceite Mobil SHC 624 ISO 32, Mes Agosto.

LUBRICANTE EN USO: Mobil SHC 624 ISO 32			MES DE MUESTRA Agosto
Contaminación Código ISO 4406		Agua (PPM)	37
ISO 4406 (>4µm)	17	TAN (mg KOH/g)	0,12
ISO 4406 (>6µm)	15	Oxidación (abs/0.1mm)	1,72
ISO 4406 (>14µm)	13	Viscosidad (40°C cSt)	35,8

Fuente: Laboratorio División Mecánica, Enap Refinerías Biobío.

Tabla 3-11. Resultado de análisis de aceite Mobil SHC 624 ISO 32, Mes Septiembre.

LUBRICANTE EN USO: Mobil SHC 624 ISO 32			MES DE MUESTRA Septiembre
Contaminación Código ISO 4406		Agua (PPM)	34
ISO 4406 (>4µm)	17	TAN (mg KOH/g)	0,14
ISO 4406 (>6µm)	16	Oxidación (abs/0.1mm)	1,95
ISO 4406 (>14µm)	13	Viscosidad (40°C cSt)	35

Fuente: Laboratorio División Mecánica, Enap Refinerías Biobío.

Tabla 3-12. Resultado de análisis de aceite Mobil SHC 624 ISO 32, Mes Octubre.

LUBRICANTE EN USO: Mobil SHC 624 ISO 32			MES DE MUESTRA Octubre
Contaminación Código ISO 4406		Agua (PPM)	31
ISO 4406 (>4µm)	21	TAN (mg KOH/g)	0,14
ISO 4406 (>6µm)	19	Oxidación (abs/0.1mm)	1,95
ISO 4406 (>14µm)	16	Viscosidad (40°C cSt)	35

Fuente: Laboratorio División Mecánica, Enap Refinerías Biobío.

Tabla 3-13. Resultado de análisis de aceite Mobil SHC 624 ISO 32, Mes Noviembre.

LUBRICANTE EN USO: Mobil SHC 624 ISO 32			MES DE MUESTRA Noviembre
Contaminación Código ISO 4406		Agua (PPM)	29
ISO 4406 (>4µm)	19	TAN (mg KOH/g)	0,11
ISO 4406 (>6µm)	17	Oxidación (abs/0.1mm)	1,62
ISO 4406 (>14µm)	14	Viscosidad (40°C cSt)	33,8

Fuente: Laboratorio División Mecánica, Enap Refinerías Biobío.

Tabla 3-14. Resultado de análisis de aceite Mobil SHC 624 ISO 32, Mes Diciembre.

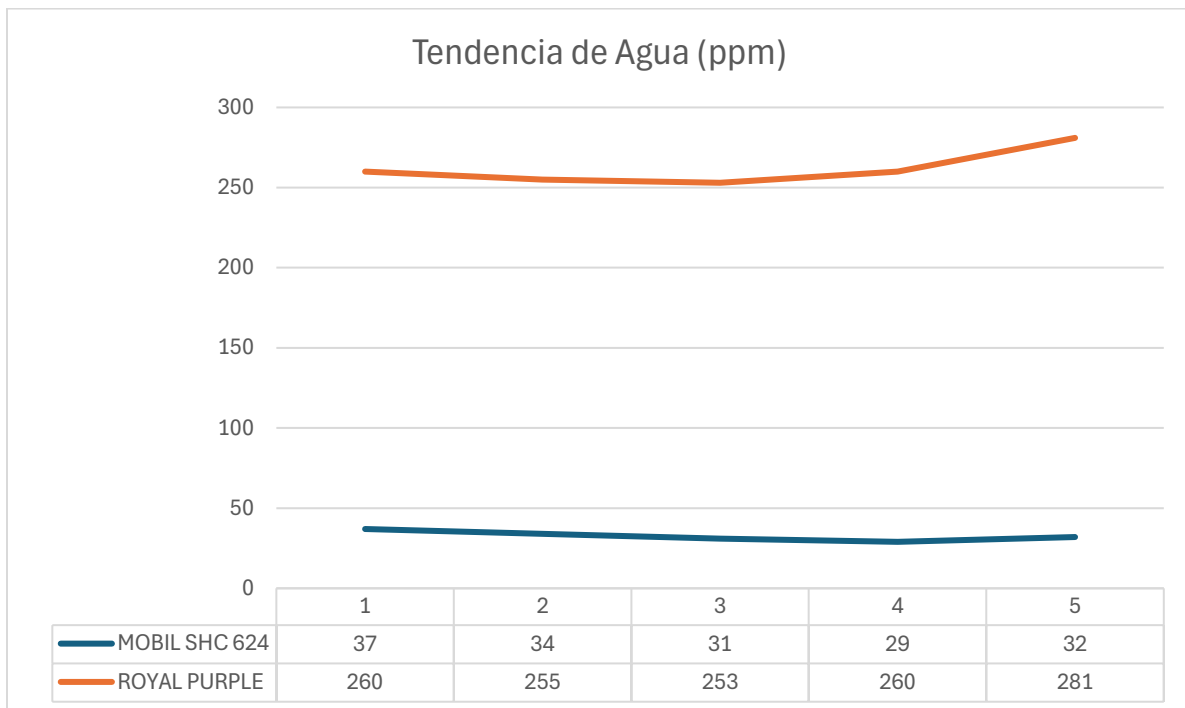
LUBRICANTE EN USO: Mobil SHC 624 ISO 32			MES DE MUESTRA Diciembre
Contaminación Código ISO 4406		Agua (PPM)	32
ISO 4406 (>4µm)	17	TAN (mg KOH/g)	0,1
ISO 4406 (>6µm)	15	Oxidación (abs/0.1mm)	1,58
ISO 4406 (>14µm)	14	Viscosidad (40°C cSt)	35

Fuente: Laboratorio División Mecánica, Enap Refinerías Biobío.

3.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo con lo observado en los cuadros, se realizan gráficos de tendencia para los parámetros de agua, TAN, oxidación y viscosidad.

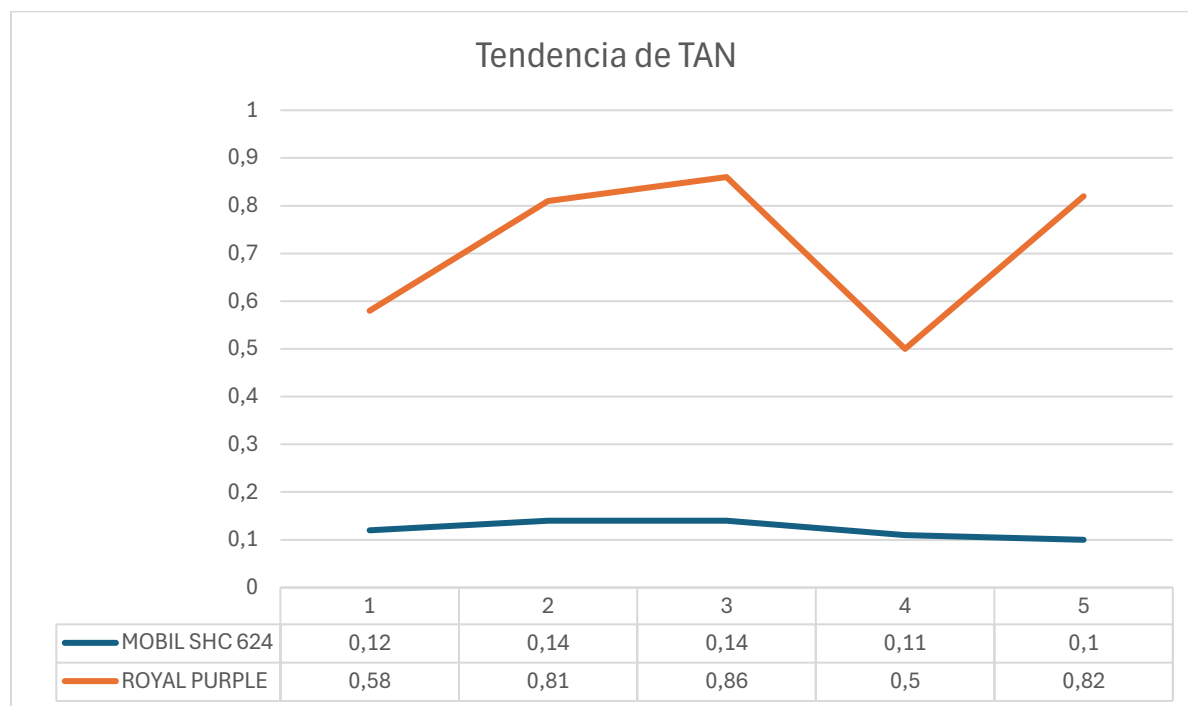
Gráfico 3-1. Tendencia de agua de aceites Mobil SHC 624 y Royal Purple.



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico de tendencia del agua se logra observar que, el contenido de agua es mayor en el aceite Royal Purple ISO 32, esto puede ser debido a que el aceite emite más vapores que el aceite MOBIL SHC 624, ya que tiene menor estabilidad térmica, lo cual produce más vapores, que se condensan y cae sobre el aceite en estado líquido.

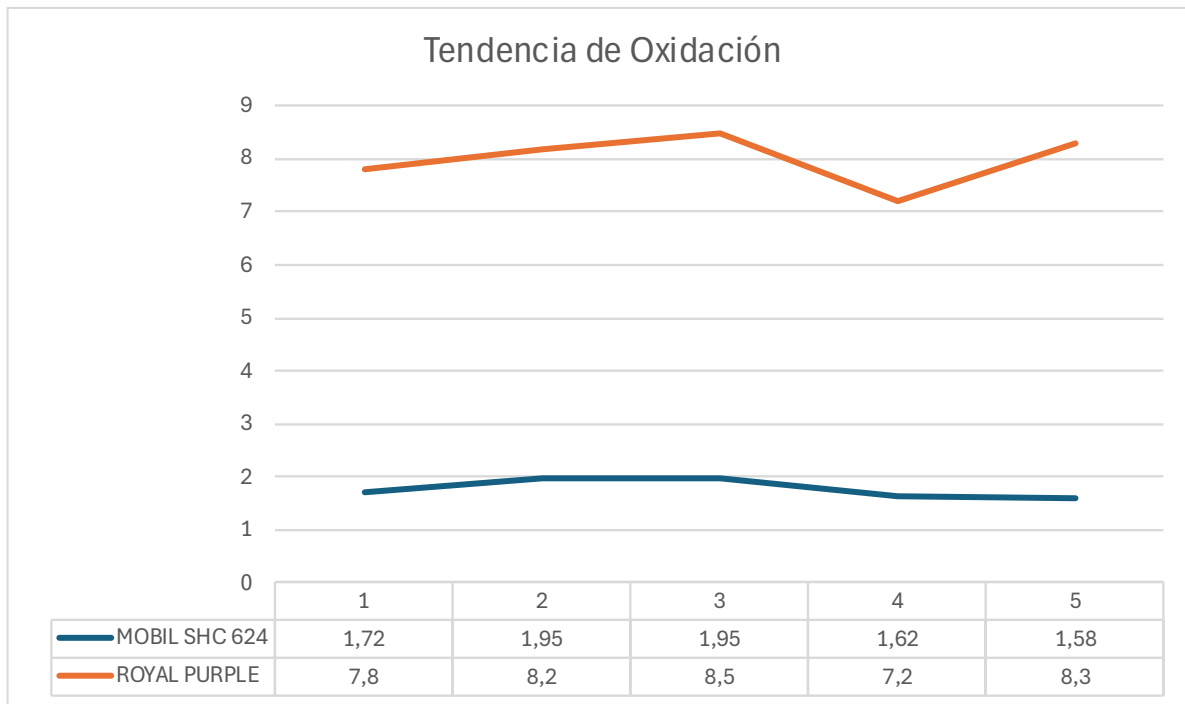
Gráfico 3-2. Tendencia del TAN de aceites Mobil SHC 624 y Royal Purple.



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico de tendencia del TAN, se logra observar que, el aceite Royal Purple tiene una mayor concentración de Hidróxido de potasio, lo cual significa que el aceite tiene un proceso de oxidación que se va incrementando mensualmente. En el tercer mes al ver los resultados se decide trasvasiar el aceite para mejorar su condición, lo cual se puede ver reflejado en el cuarto mes. Al mes siguiente se vuelve a realizar una muestra y se detecta nuevamente degradación del lubricante con el aumento de TAN.

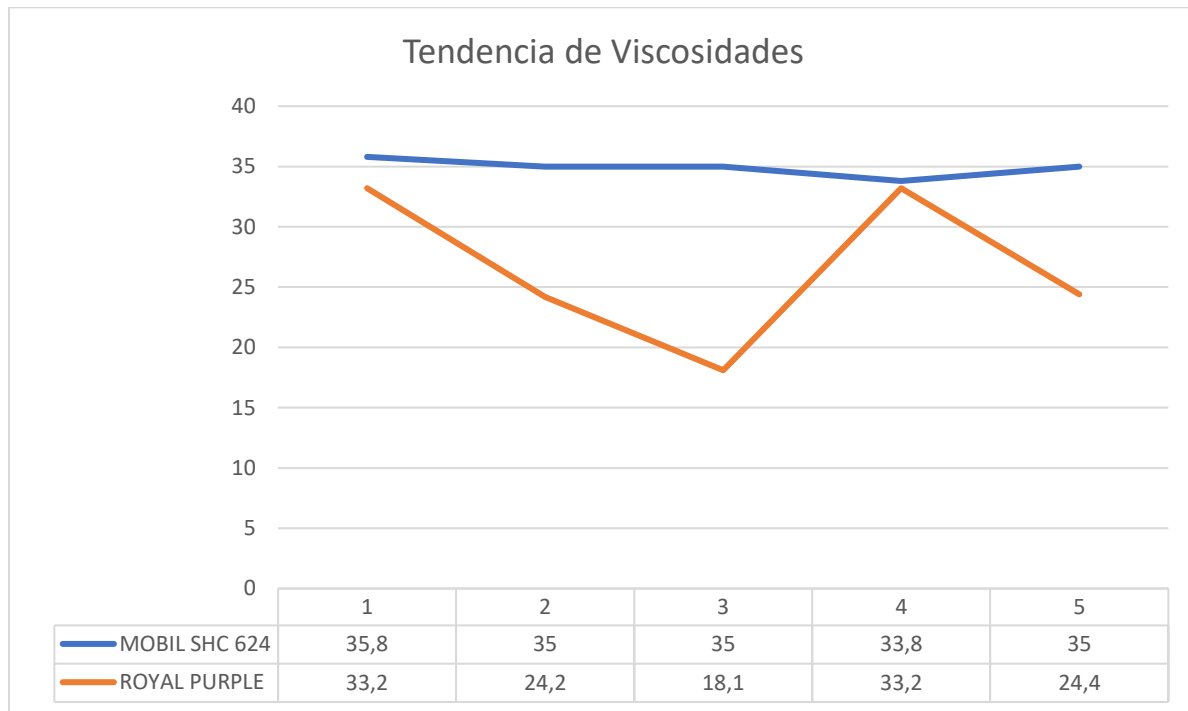
Gráfico 3-3. Tendencia de la oxidación de aceites Mobil SHC 624 y Royal Purple.



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico de tendencia de la oxidación se logra observar que, el aceite Royal Purple tiene tendencia al alza. Los valores obtenidos en el análisis permiten deducir el aceite se encuentra degradado químicamente, esto significa que los aditivos, la película lubricante y las propiedades del aceite se comienzan a deteriorar. Sin embargo, el aceite Mobil SHC 624 mantiene una estabilidad de la oxidación, por tanto, el aceite conserva sus propiedades, aditivos y película lubricante, esto significa que se encuentra en buen estado.

Gráfico 3-4. Tendencia de la viscosidad de aceites Mobil SHC 624 y Royal Purple.



Fuente: Elaboración propia.

Durante el periodo prueba, se observa una estabilidad en la tendencia de viscosidad de lubricante Mobil SHC 624, lo que se infiere que durante la operación el lubricante mantiene una película lubricante adecuada, logrando un buen desempeño para la operación del equipo. Por otra parte, el lubricante Royal Purple muestra una tendencia a la baja durante los primeros 3 meses, disminuyendo su película lubricante, por lo que se requiere realizar una medida correctiva de cambio de aceite, sin embargo, al mes siguiente vuelve a tener una disminución, por lo que se observa que el desempeño del lubricante para la operación del equipo no es el adecuado, siendo vulnerable a los cambios de temperatura y carga.

Al finalizar los análisis, podemos evidenciar lo siguiente:

El aceite Mobil SHC 624 ISO 32 tiene mejor desempeño a las condiciones de trabajo del equipo P1502-B, ya que, mantiene su viscosidad y oxidación dentro de los rangos permitidos. Por tanto, el aceite es confiable para ser utilizado en las cajas de engranaje de marca Sundyne, modelo LMV-311.

El aceite Royal Purple ISO 32 tiene un bajo desempeño a las condiciones de trabajo del equipo P1502-A, ya que, el aceite tiene tendencia a la degradación, por lo que su viscosidad se ve afectada disminuyendo su capa lubricante. También tiene tendencia a la oxidación, lo que provoca la generación de barnices, agotamiento de los aditivos y pérdida de otras propiedades vitales para su buen desempeño, los cuales terminan trabando los mecanismos (ejemplo: bomba de lubricación, filtro de aceite, engranajes, líneas de lubricación, rodamientos, etc.). Un claro ejemplo es ver en que condición se encuentran los visores de nivel, donde se puede apreciar que el lubricante utilizado en la P1502-B se puede ver claramente, en cambio en el equipo P1502-A tiene barniz adherido en el visor, lo que dificulta verificar su nivel de aceite correctamente. Por otra parte, se evidencia que ante la necesidad de cuidar la salud del equipo fue necesario realizar un trasvasije de aceite para mejorar las propiedades del lubricante en uso.

Por tanto, con los resultados obtenidos se recomienda utilizar el aceite Mobil SHC 624 ISO 32 para las cajas multiplicadoras de las bombas P-1502-A y P-1502-B.



Figura 3-2. Visor de nivel equipo P1502-B utilizando aceite Mobil SHC 624.
Fuente: Levantamiento fotográfico de planta HDT, Enap Biobío.



Figura 3-3. Visor de nivel equipo P1502-A utilizando aceite Royal Purple.
Fuente: Levantamiento fotográfico de planta HDT, Enap Biobío.

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

4. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

4.1. COSTOS TRABAJOS DE CAMBIO DE ACEITE

Para los trabajos de cambio de aceite se necesita principalmente de dos recursos, una de ellas es la mano de obra y la otra es el lubricante en conjunto con el filtro de aceite.

4.1.1. Costo humano

El costo humano asociado a la ejecución del cambio de aceite consta principalmente de un supervisor y un técnico lubricador, quienes en conjunto ejecutan las actividades necesarias para llevar a cabo la actividad.

A continuación, se detalla el costo de mano de obra involucrado en esta actividad. Para el supervisor, se considera un valor de \$21.464 pesos por hora, con un tiempo de trabajo total de 2 horas, lo que representa un total de \$42.928 pesos. Para el técnico lubricador, se considera un valor de \$10.362 pesos por hora, con un tiempo de trabajo total de 2 horas, lo que representa un total de \$20.724 pesos.

Por tanto, el coste económico total asociado a la mano de obra del cambio de aceite asciende a un valor de \$63.652 pesos.

Tabla 4-1. Costo económico por mano de obra.

Costo de hora de trabajo en pesos		Horas de trabajo		Costo económico	Costo económico total
Supervisor	\$ 21.464	Supervisor	2	\$ 42.928	\$ 63.652
Técnico lubricador	\$ 10.362	Técnico lubricador	2	\$ 20.724	

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Valores de lubricantes y filtro de aceite

Para realizar el estudio se utilizó 1 tineta de aceite de la marca Royal purple ISO 32, la cual tiene un valor de \$1.033.436 pesos y 1 tineta de aceite de la marca Mobil SHC 624 ISO 32 que tiene un valor de \$713.176 pesos. La capacidad de aceite que almacena la caja multiplicadora es de 8 litros, por tanto, el valor real de aceite que se utiliza es \$435.131 pesos para el caso del aceite Royal purple ISO 32 y \$300.285 pesos el Mobil SHC 624 ISO 32.

El filtro de aceite de la marca Sundyne modelo 22-362 tiene un valor de 412.740 pesos.

Tabla 4-2. Valores de lubricantes y filtro de aceite.

Valor tineta 19 litros Royal Purple ISO 32	Valor tineta 19 litros SHC 624	Valor filtro de aceite
\$ 1.033.436	\$ 713.176	\$ 412.740
Costo de lubricante utilizado en cambio de aceite	Costo de lubricante utilizado en cambio de aceite	
\$ 435.131	\$ 300.285	

Fuente: Elaboración Propia.

4.2. PROYECCIÓN ANUAL DE COSTOS

Para proyectar el costo anual del cambio de aceite de cada lubricante se considerará la vida útil de cada uno de ellos según los análisis de aceite, en caso de que su viscosidad se mantenga en un tiempo superior a 6 meses, se considerará la recomendación indicada por el fabricante de la caja multiplicadora cada 6 meses.

A continuación, se realizará una comparación entre los lubricantes Royal pulple ISO 32 y Mobil SHC 624 ISO 32 para evaluar los costos anuales de cada uno de ellos.

Tabla 4-3. Costo anual de cambio de aceite con lubricante Royal purple ISO 32.

Costo de lubricante Royal 32 utilizado en cambio de aceite	Frecuencia real de cambio de aceite por condición (meses)	Cantidad de cambios de aceite anual	Costo anual de cambio de aceite
\$ 435.131	2	6	\$ 5.469.138
Valor filtro de aceite	Costo económico mano de obra		
\$ 412.740	\$ 63.652		

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla 4-3 detalla el costo anual por cambio de aceite del lubricante Royal Purple ISO 32 actualmente en uso. A partir del análisis de aceite realizado se determinó que la frecuencia real de cambio de aceite es de cada 2 meses, debido al comportamiento del lubricante según lo analizado en el capítulo 3. El costo anual de cambio de aceite es de \$ 5.469.138 pesos.

Tabla 4-4. Costo anual de cambio de aceite con lubricante Mobil SHC 624 ISO 32.

Costo de lubricante SHC 624 utilizado en cambio de aceite	Frecuencia real de cambio de aceite por condición (meses)	Cantidad de cambios de aceite anual	Costo anual de cambio de aceite
\$ 300.285	6	2	\$ 1.553.354
Valor filtro de aceite	Costo económico mano de obra		
\$ 412.740	\$ 63.652		

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla 4-4 detalla el costo anual por cambio de aceite del lubricante SHC 624 ISO 32 actualmente en uso. A partir del análisis de aceite realizado se determinó que la frecuencia real de cambio de aceite es de cada 6 meses, debido al comportamiento del lubricante según lo analizado en el capítulo 3. El costo anual de cambio de aceite es de \$ 1.553.354 pesos.

4.3. **PROYECCIÓN DE COSTOS**

Para conocer que lubricante entrega un mayor beneficio respecto a los costos a largo plazo, se realizó una proyección a cinco años para evaluar cuanto es la capacidad de ahorro, la cual se puede ver en las siguientes tablas:

Tabla 4-5. Proyección de costos de cambio de aceite con lubricante Mobil SHC 624 ISO 32.

Mobil SHC 624				
Proyección 1er año	Proyección 2do año	Proyección 3er año	Proyección 4to año	Proyección 5to año
\$ 1.553.353	\$ 3.106.707	\$ 4.660.060	\$ 6.213.413	\$ 7.766.766

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4-6. Proyección de costos de cambio de aceite con lubricante Royal purple ISO 32.

Royal purple ISO 32				
Proyección 1er año	Proyección 2do año	Proyección 3er año	Proyección 4to año	Proyección 5to año
\$ 5.469.138	\$ 10.938.275	\$ 16.407.413	\$ 21.876.551	\$ 27.345.688

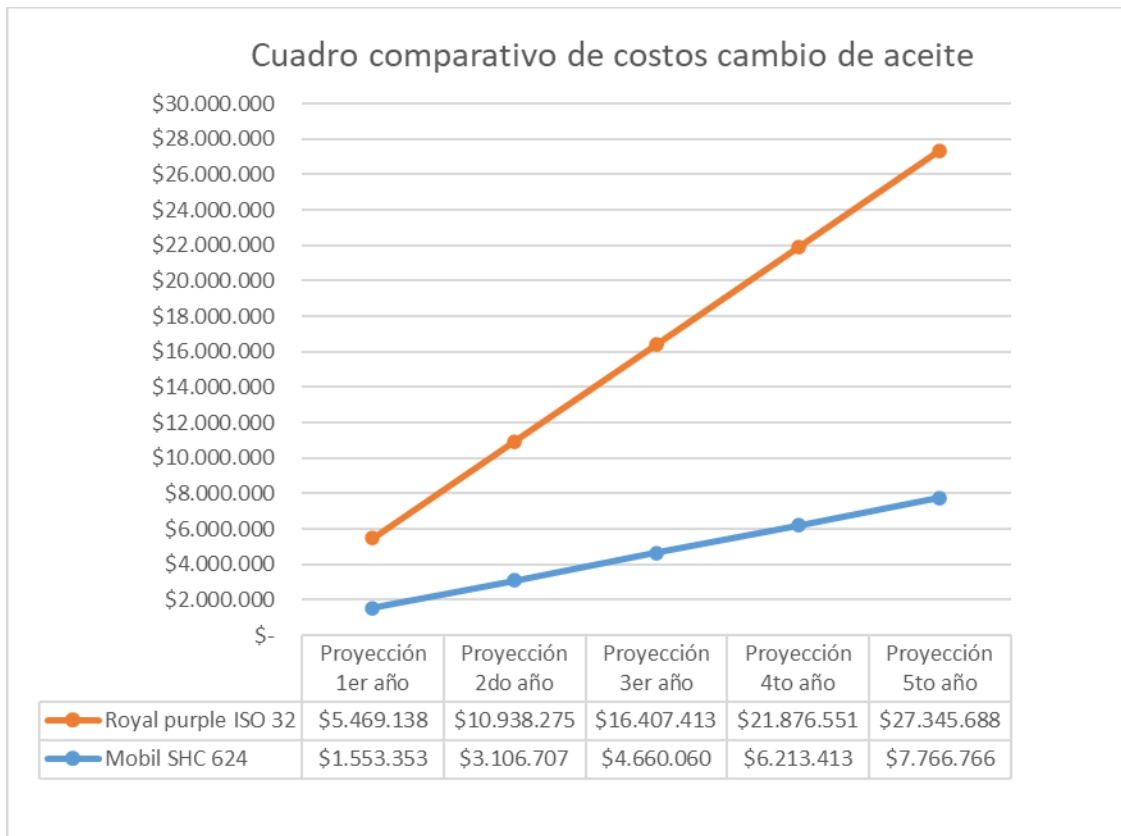
Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede observar en ambos cuadros, mantener el lubricante Royal purple ISO 32, significaría mantener un costo que es considerablemente mayor en comparación con el uso del lubricante Mobil SHC 624. En un periodo de cinco años, la proyección de costos para el Royal purple ISO 32 es de \$ 27.345.688 pesos, mientras que el Mobil SHC 624 es de 7.766.766 pesos.

La diferencia acumulada entre ambos lubricantes equivale a:

$27.345.688 - 7.766.766 = 19.578.922$ pesos. La implementación del lubricante Mobil SHC 624 permite obtener un ahorro proyectado de 19.578.922 pesos en un periodo de cinco años.

Gráfico 4-1. Cuadro comparativo costos cambio de aceites Mobil SHC 624 y Royal Purple.



Fuente: Elaboración Propia.

4.4. COSTO ECONOMICO FALLA DE CAJA MULTIPLICADORA

La falla de una caja multiplicadora representa un impacto económico considerable para la operación de la planta, debido a que son equipos críticos que cumplen con la función de alimentar con un caudal de 166 M3/D de líquido Quench hacia el segundo reactor. En consecuencia, de una detención no programada por falla de lubricación podría afectar directamente la continuidad operacional y la confiabilidad del proceso productivo.

Considerando las características y el modelo de la caja multiplicadora Sundyne LMV-311 se logró obtener la información de que cuando este equipo tiene una falla catastrófica relacionada con problemas de lubricación el procedimiento habitual consiste en el reemplazo del conjunto caja multiplicadora y bomba centrífuga. Lo cual tiene un costo de reposición de un valor aproximado de 223.720.000 pesos. Sin considerar los costos adicionales asociados al transporte de los repuestos, instalación y puesta en marcha.

Adicionalmente, una falla catastrófica puede conllevar a generar costos indirectos asociados a pérdidas de producción por detención de la unidad de proceso, lo cual puede llevar a una detención en cadena de dos o más plantas de proceso, asimismo, puede generar daños medioambientales, ya que al detenerse las plantas de proceso es necesario activar el sistema de alivio de la refinería lo cual genera emanaciones de humo negro afectando al medio ambiente, poblaciones aledañas y el no cumplimiento de estándares ambientales exigido a este tipo de instalación.

4.5. **PROYECCIÓN DE BENEFICIOS ECONOMICOS**

En la refinería operan 26 cajas multiplicadoras con características equivalentes al equipo estudiado, dentro de este número están incluidas las dos analizadas en el presente estudio, las cuales utilizan el mismo lubricante Royal purple ISO 32. Sobre esta base, se proyectará los costos asociados para el conjunto de equipos donde se podrá observar la diferencia acumulada entre ambos lubricantes:

Tabla 4-7. Proyección de costos de cambio de aceite de aceites en 26 cajas multiplicadoras con lubricante Mobil SHC 624

Mobil SHC 624				
Proyección 1er año	Proyección 2do año	Proyección 3er año	Proyección 4to año	Proyección 5to año
\$ 40.387.178	\$ 80.774.356	\$121.161.534	\$161.548.712	\$201.935.890

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4-8. Proyección de costos de cambio de aceite de aceites en 26 cajas multiplicadoras con lubricante Royal purple ISO 32

Royal purple ISO 32				
Proyección 1er año	Proyección 2do año	Proyección 3er año	Proyección 4to año	Proyección 5to año
\$142.197.588	\$284.395.176	\$426.592.764	\$568.790.352	\$710.987.940

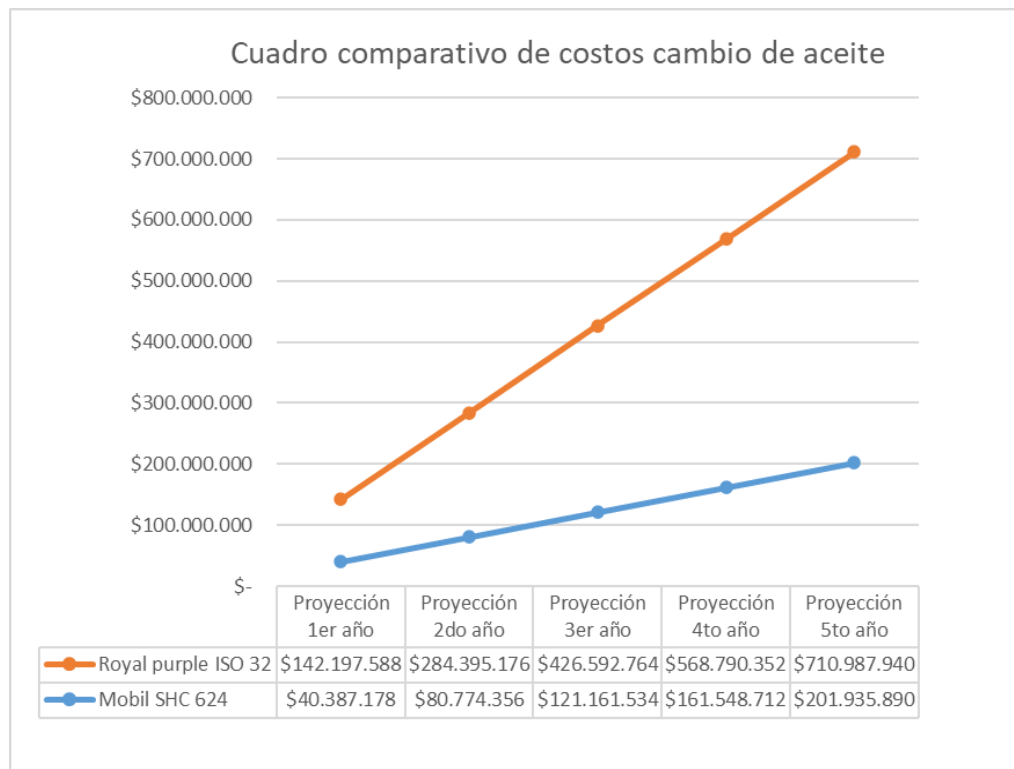
Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede observar en ambos cuadros, mantener el lubricante Royal purple ISO 32, significaría mantener un costo que es considerablemente mayor en comparación con el uso del lubricante Mobil SHC 624. En un periodo de cinco años, la proyección de costos para el Royal purple ISO 32 es de \$ 710.987.940 pesos, mientras que el Mobil SHC 624 es de 201.935.890 pesos.

La diferencia acumulada entre ambos lubricantes equivale a:

$710.987.940 - 201.935.890 = 509.052.050$ pesos. La implementación del lubricante Mobil SHC 624 permite obtener un ahorro proyectado de 509.052.050 pesos en un periodo de cinco años.

Gráfico 4-2. Cuadro comparativo costos cambio de aceites en 26 cajas multiplicadoras



Fuente: Elaboración Propia.

CONCLUSIÓN

El estudio realizado permitió analizar el comportamiento de los lubricantes utilizados en las cajas multiplicadoras de velocidad pertenecientes a equipos críticos de la planta HDT de ENAP Refinerías Biobío. A partir del diagnóstico operacional, los análisis de aceite y levantamiento en terreno, fue posible identificar que la degradación del lubricante tiene una relación directa con la formación de barnices y sedimentos al interior de los equipos. En particular, se logró evidenciar que el lubricante Royal Purple ISO 32 no presenta un desempeño adecuado bajo las condiciones reales de operación del equipo P1502-B.

Al realizar la prueba piloto con el lubricante Mobil SHC 624 ISO 32, se logró comprobar que existe una mejora significativa en la estabilidad fisicoquímica del aceite, manteniendo los parámetros de viscosidad, oxidación, TAN y contenido de agua dentro de rangos aceptables durante el período de estudio. Esto permitió reducir la degradación del lubricante y mejorar la condición interna de la caja multiplicadora, disminuyendo la formación de contaminantes sólidos y depósitos.

Desde el punto de vista técnico-operacional, el uso de análisis de aceite como herramienta de mantenimiento predictivo logro demostrar que es fundamental para detectar de forma temprana condiciones anormales de los lubricantes, permitiendo tomar decisiones oportunas para la continuidad del proceso. Asimismo, se evidenció la importancia de implementar un programa formal de monitoreo de lubricantes, ya que la ausencia de este factor contribuye directamente a la aparición de fallas progresivas en los equipos.

Desde el punto de vista económico, el análisis costo-beneficio demostró que el uso del lubricante Mobil SHC 624 ISO 32 representa una alternativa técnicamente más eficiente y económicamente más conveniente. Debido a que el lubricante Royal Purple ISO 32 requiere cambios de aceite cada dos meses, su costo anual de operación asciende a \$5.469.138 pesos por equipo, mientras que el Mobil SHC 624 ISO 32, con una frecuencia de cambio semestral, alcanza

un costo anual de \$1.553.354 pesos. Esto representa una reducción significativa en costos de mantenimiento asociados a lubricación.

La proyección económica a cinco años evidenció que la implementación del lubricante Mobil SHC 624 ISO 32 permitiría obtener un ahorro estimado de \$19.578.922 pesos por equipo respecto al uso de Royal Purple ISO 32. Del mismo modo, considerando que en la refinería operan 26 cajas multiplicadoras con características equivalentes y utilizando actualmente el mismo lubricante Royal Purple ISO 32, el ahorro proyectado para el conjunto de equipos asciende a \$509.052.050 pesos en un periodo de cinco años.

En consecuencia, y considerando tanto los resultados técnicos como económicos obtenidos durante la investigación, se concluye que el lubricante Mobil SHC 624 ISO 32 es la alternativa más adecuada para la operación de las cajas multiplicadoras analizadas, ya que proporciona una mayor estabilidad operacional, reduce el riesgo de fallas asociadas a degradación del lubricante y permite disminuir considerablemente los costos de mantenimiento y operación a largo plazo.

BIBLIOGRAFIA

1. NORIA LATÍN AMÉRICA. Los lubricantes sintéticos. [en línea]. <<https://noria.mx/lube-learn/lubricacion-maquinaria-lube-learn/certificacion-mlti/los-lubricantes-sinteticos>> [consulta: 17 octubre 2024]
2. CSI Ltda. Nuestra historia. [en línea]. <<https://csiltda.cl/nosotros/historia>> [consulta: 10 septiembre 2024]
3. NORIA LATÍN AMÉRICA. Tribología. [en línea]. <<https://noria.mx/lube-learn/lubricacion-maquinaria-lube-learn/certificacion-mlti/tribologia>> [consulta: 20 octubre 2024]
4. AMETEK SPECTRO SCIENTIFIC. Analizador de aceite integral para Maquinaria i. industrial. [en línea]. <https://www.spectrosci.com/product/minilab-153?utm_source=undefined&utm_medium=undefined&utm_campaign=undefined> [consulta: 06 noviembre 2024]
5. HONEYWELL SUNDYNE. Bomba de engranajes integrales Sundyne LMV 311 [en línea]. <https://www.sundyne-com.translate.goog/products/integrally-gearred-pumps/lmv-311-pump/? x_tr sl=en& x_tr tl=es& x_tr hl=es& x_tr pto=tc> [consulta: 20 noviembre 2024]
6. ROYAL PURPLE SYNTHETIC OIL. Synfilm GT aceite industrial multiusos. [en línea]. <<https://enro.com.mx/pdf/purple/synfilm-gt.pdf>> [consulta: 15 enero 2025]
7. MOBIL INDUSTRIAL CHILE. Mobil SHC 600 series. [en línea]. <<https://www.mobil.com/es-cl/industrial/pds/gl-xx-mobil-shc-600-series>> [consulta: 23 enero 2025]