

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCION – REY BALDUINO DE BELGICA

**PROPUESTA DE MEJORA AL PLAN DE MANTENIMIENTO EN LA CINTA
TRANSPORTADORA DE COQUE CR-1401, ORIENTADO A LA
LUBRICACIÓN**

Trabajo de titulación para optar al
título profesional de INGENIERO
EN MANTENIMIENTO
INDUSTRIAL, CON
LICENCIATURA EN INGENIERÍA.

Alumno:

Gerardo Andrés Galdames Jorquera

Profesor Guía:

Fabrizio Cariñe

2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

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

Título del trabajo: Propuesta de Mejora al Plan de Mantenimiento en la cinta transportadora de Coque CR-1401, orientado a la Lubricación

Nombre del candidato(a): Gerardo Galdames Jorquera

Carrera / Grado: Ingeniería en Mantenimiento Industrial

Campus: Sede Concepción Departamento: Mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, **Fabrizio Carriñe Avendaño** 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: 12.12.2025

Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 12.12.2025

Firma:

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

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de título a la persona que ha sido mi única fuente de inspiración, mi hija Maite, porque ella me impulsa a superar cada obstáculo y mantenerme firme para lograr mis objetivos.

Este proyecto no solo es un logro académico, sino que, es el resultado de tardes y noches de esfuerzo, perseverancia, pero también lleno sueños y esperanzas.

Maite, mi hijita hermosa, a ti dedico este nuevo logro, porque cada avance que doy es por ti y para ti. Gracias por ser mi inspiración.

De igual modo, me dedico este trabajo a mí, porque pese al miedo, dificultades e incertidumbre, elegí salir adelante. Me reconozco por cada esfuerzo silencioso, por las veces que pensé en abandonar la carrera, pero decidí no rendirme. Me felicito por haber creído en mí y no perder de vista mis metas aun cuando el cansancio parecía ganar.

RESUMEN

Desde la Revolución Industrial, las cintas transportadoras han sido esenciales en los procesos productivos por su eficiencia en el traslado de materiales. Su uso nos permite optimizar tiempos, reducir costos y aumentar la competitividad industrial. Producto de su rol crítico dentro de la cadena de producción, es que, su correcto funcionamiento es clave para evitar desviaciones que generen pérdidas económicas. Por lo que, una falla no programada puede afectar seriamente la productividad y compromiso de entrega. Por consiguiente, el mantenimiento preventivo resulta indispensable para prolongar la vida útil de los componentes.

Esta memoria de título surge de una falla inesperada en uno de los componentes de una cinta transportadora en ENAP refinерías Bío-Bío, que involucra el área de lubricación. A raíz del evento ocurrido en la cinta transportadora CR-1401, se utilizó algunos métodos de análisis de falla como: Ishikawa, árbol de problemas y análisis de causa-raíz. En donde se identificaron causas asociadas a una inadecuada frecuencia y una brecha en el método de lubricación. Esto permitió establecer una línea base para definir mejoras.

En base a los análisis, se realiza una propuesta de mejora enfocándolo específicamente a las actividades de lubricación. Se verificó si el lubricante utilizado era el óptimo, frecuencia de re-engrase y se propone incorporar dispensadores automáticos de lubricante buscando disminuir los tiempos de ruta de lubricación y asegurar la continuidad operacional del equipo.

Finalmente, se realizó un análisis costo-beneficio con el objetivo de evaluar la viabilidad de la inversión necesaria para implementar la mejora propuesta. Para este análisis se consideró costos asociados a insumos, personas trabajadoras, y tiempos de instalación. A partir de estos datos, fue posible comprobar si la propuesta es viable tanto técnica como financieramente.

ÍNDICE CONTENIDO

1	CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO	3
1.1	ACTIVIDAD INDUSTRIAL DE ENAP	4
1.2	CINTAS TRANSPORTADORAS	5
1.2.1	¿Qué es una cinta transportadora?.....	5
1.2.2	Historia de la cinta transportadora	5
1.2.3	Ventajas de utilizar cintas transportadoras dentro de la industria	7
1.3	PRINCIPALES TIPOS DE MANTENIMIENTO	8
1.3.1	Mantenimiento Correctivo	8
1.3.2	Mantenimiento preventivo	10
1.4	TEORÍA BÁSICA DE LA LUBRICACIÓN	13
1.4.1	Historia de la lubricación	13
1.4.2	Aceites lubricantes	13
1.4.3	Fricción	14
1.4.4	Desgaste	14
1.4.5	¿Cómo evitar la fricción y desgaste?	15
1.4.6	¿Qué es un lubricante?	15
1.4.7	Composición del aceite	16
1.5	NORMATIVAS Y APLICACIONES INDUSTRIALES PARA ACEITES.....	18
2	CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE LA FALLA DEL DESCANSO DEL TAMBOR NIVELACIÓN EN LA CINTA TRANSPORTADORA DE COQUE CR-1401	19
2.1	COMPAÑÍA SERVICIOS INDUSTRIALES	20
2.1.1	Presentación	20
2.2	FUNCIÓN DEL PROCESO DE TRANSPORTE DE COQUE	21
2.2.1	Proceso en el cual interviene cinta transportadora CR-1401	21
2.3	IDENTIFICAR EL ORIGEN DE LA FALLA EN CINTA TRANSPORTADORA DE COQUE CR-1401	28
2.3.1	Tambor y descanso CR-1401	28
2.4	SITUACIÓN ACTUAL DE LA CINTA TRANSPORTADORA CR-1401	30

2.5	PROBLEMA DETECTADO.....	30
2.5.1	Conclusiones parciales del análisis de la falla	33
2.6	MÉTODOS DE ANÁLISIS PARA ENCONTRAR CAUSA PRINCIPAL DE FALLA	34
2.6.1	Diagrama Ishikawa.....	34
2.6.2	Árbol de problemas	36
2.6.3	Análisis causa raíz.....	38
2.6.4	Controles de potencial de falla.....	40
2.7	CONCLUSIÓN DE LOS ANÁLISIS	41
3	CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE MEJORA	42
3.1	PROPUESTA DE MEJORA AL PROBLEMA DETECTADO	43
3.1.1	Punto relevante.....	43
3.2	MEMORIA DE CÁLCULO DE LUBRICANTE.....	45
3.2.1	Condiciones de operación	45
3.2.2	Antecedentes técnicos	45
3.2.3	Cálculo de volumen de grasa requerida	46
3.2.4	Cálculo de viscosidad adecuada de lubricante base (método factor de velocidad).....	46
3.2.5	Cálculo de viscosidad adecuada de lubricante base (método gráfico).....	47
3.2.6	Frecuencia de re-engrase, según Norma DIN 51825	50
3.2.7	Cuadro de resumen.....	50
3.3	RESULTADOS DE LUBRICANTE Y SU FRECUENCIA	51
3.4	PROPUESTA ADAPTADA A LAS CONDICIONES AMBIENTALES	52
3.4.1	Dispensador automático	52
3.4.2	Dosificación y duración del vaso lubricador.....	53
4	CAPÍTULO 4: ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO.....	54
4.1	COSTO-BENEFICIO DE UTILIZAR DISPENSADOR AUTOMÁTICO A GAS 55	
4.1.1	Costo actual de lubricar cinta transportadora CR-1401	55
4.1.2	Costo al implementar dispensador en cinta transportadora cr-1401	58
4.2	CALENDARIO DE RELUBRICACIÓN	60

4.3 RESULTADOS DE LA PROPUESTA 61

4.4 BALANCE COSTO-BENEFICIO.....62

4.4.1 Beneficio de implementar dispensador automático 62

4.4.2 Beneficio de la operación continua 64

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

figura - 1-1: Vista aérea ENAP Biobío.....	4
figura - 1-2: Polín con eje cortado.....	9
figura - 1-3: Instalación de rodamiento.....	9
figura - 1-4: Cambio de cinta.....	10
figura - 1-5: Verificando fisuras en cinta.....	11
figura - 1-6: Comprobando tensión de cinta.....	11
figura - 1-7: Acumulación de coque.....	12
figura - 1-8: Puntos de engrase de descansos de polines.....	12
figura - 1-9: Explicación gráfica de fricción.....	14
figura - 1-10: Explicación gráfica de desgaste.....	15
figura - 2-1: Primer proceso de coque.....	21
figura - 2-2: Vista aérea de proceso de transporte de coque.....	22
figura - 2-3: Parrilla y tolva de entrada de material de coque.....	23
figura - 2-4: Transportador de alimentación del triturador de coque primario.....	24
figura - 2-5: Transportador de coque hacia el almacenaje.....	26
figura - 2-6: Domo de almacenaje de coque.....	27
figura - 2-7: Plano simplificado cinta transportadora CR-1401.....	28
figura - 2-8: Componente descanso en terreno.....	29
figura - 2-9: Plano de tambor de nivelación cinta transportadora CR-1401.....	29
figura - 2-10: Rodamiento descanso contaminado.....	32
figura - 2-11: Exceso de lubricación.....	32
figura - 2-12: Diagrama Ishikawa.....	35
figura - 2-13: Árbol de problemas.....	37
figura - 3-1: Rotura de rodamiento por partículas de coque.....	44
figura - 3-2: Pérdida de propiedades de la grasa por alta temperatura.....	44
figura - 3-3: Especificación técnica de rodamiento 22211 EK.....	45
figura - 3-4: Relación entre factor Kappa y la vida del rodamiento.....	47
figura - 3-5: Viscosidad mínima requerida $v_1 = 75 \text{ mm}^2\text{s}$	48
figura - 3-6: Viscosidad real a la temperatura de operación $v = 188 \text{ mm}^2\text{s}$	48
figura - 3-7: Cálculo de factores Kappa a la temperatura de operación.....	49
figura - 3-8: Obtención de frecuencia de engrase en horas.....	50
figura - 3-9: Cálculo de la frecuencia de re-engrase.....	50
figura - 3-10: Descripción dispensador automático a gas.....	52
figura - 3-11: Cálculo dosificación de vaso lubricador.....	53

figura - 4-1: Reducción de riesgo de fallas por lubricación automática. 63

figura anexo 1: Cotización dispensador automático a gas. 68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 : Especificaciones del descanso en falla.....45

Tabla 2 : Especificaciones rodamiento 22211 EK.....46

Tabla 3 : Especificaciones rodamiento 22211 EK.....48

Tabla 4 : Costos asociados a lubricación.....56

Tabla 5 : Costos por actividad de lubricación. 57

Tabla 6 : Costos asociados a la propuesta de mejora. 58

Tabla 7 : Costos al implementar mejora.....58

Tabla 8 : Calendario relubricación actual.....60

Tabla 9 : Calendario propuesta mejora.....60

Tabla 10 : Beneficios lubricación automática. 63

SIGLAS

ENAP	:	Empresa Nacional del Petróleo
Outsourcing	:	Subcontratación
Switch	:	Interruptor
Coker	:	Planta de ENAP Refinerías Bío-Bío
tn/hr	:	Toneladas/Hora
mm	:	Milímetros
m/s	:	Metros/Segundos
V	:	Volt
Hz	:	Hertz
NLGI	:	Instituto Nacional de Grasas Lubricantes
g/día	:	Gramos/Día
gr	:	Gramos
cSt	:	Centistoke
°C	:	Grados Celsius
N°	:	Número
LTDA	:	Limitada
mg-KOH/g	:	Miligramos de Hidróxido de Potasio/Gramo
SSU	:	Segundos Saybolts

INTRODUCCIÓN

Desde la Revolución Industrial, las cintas transportadoras se han convertido en un componente esencial en los procesos productivos, debido a su capacidad de trasladar grandes volúmenes de material de forma continua y eficiente [1]. Este tipo de sistemas permite optimizar tiempos, reducir costos de operación y mejorar la competitividad de las industrias.

Dado que cumplen un rol crítico en la cadena productiva, la disponibilidad y correcta operación de estas, resulta determinante para garantizar la continuidad de los procesos. Una detención no programada puede generar pérdidas significativas por costos de reparación, arriendo de maquinarias o incumplimientos de compromisos de producción [13].

Por consiguiente, el mantenimiento preventivo adquiere un rol fundamental, ya que contribuye a extender la vida útil de los equipos y minimizar fallas asociadas a deficiencias en la lubricación, la cual es una de las causas más recurrentes en este tipo de sistemas [7].

El presente proyecto surge a partir de una falla ocurrida en la cinta transportadora de coque CR-1401, en ENAP Refinerías Bío-Bío. El evento puso en evidencia la necesidad de revisar y mejorar el plan de lubricación, considerando la dosificación adecuada y la frecuencia óptima de re-engrase, con el fin de evitar nuevas fallas y optimizar costos de mantenimiento.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Realizar una propuesta de mejora al plan actual de ruta de lubricación, con el fin de asegurar la continuidad operacional de la cinta transportadora CR-1401.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el funcionamiento y condiciones operativas de las cintas transportadoras.
- Identificar los modos de fallas y causa raíz asociados a la cinta transportadora de coque CR-1401.
- Proponer un plan de acción que optimice la ruta de lubricación.
- Evaluar el costo-beneficio de implementar la propuesta de mejora.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

1.1 ACTIVIDAD INDUSTRIAL DE ENAP

ENAP es un actor clave para el desarrollo de energías en Chile y cumple con el rol estratégico de asegurar el abastecimiento de combustibles para todo el país. En Chile, es la única industria que refina combustibles en sus tres refinerías que son Aconcagua, Biobío y San Gregorio. Asimismo, ENAP Magallanes desempeña un papel clave en garantizar el suministro de combustibles líquidos, gas natural y gas líquido petróleo a la región de Magallanes y la Antártica Chilena.

La refinación involucra una serie de procesos tanto físicos como químicos que permiten separar y transformar los diversos subproductos que conforman el petróleo crudo. Para que se puedan desarrollar estas actividades las refinerías de ENAP Aconcagua, Biobío y San Gregorio cuentan con una serie de plantas que intervienen en el proceso, las cuales son: Topping (fraccionamiento primario), Reformación catalítica, Planta de recuperación de livianos y tratamientos, Unidad productora de diésel, Unidad recuperadora de azufre, Unidad de isomerización, Hidrocracking, Visbreaker, Cracking catalítico, Wet gas scrubber, Coquización retardada, Hidrodesulfurización o hidrotratamiento de nafta y diésel.

Al completarse la producción de los productos refinados, comienza su almacenamiento en estanques, para luego ser transportados y distribuidos a nivel nacional.



figura - 1-1: Vista aérea ENAP Biobío.

Fuente: Portal ENAP.

1.2 CINTAS TRANSPORTADORAS

1.2.1 ¿Qué es una cinta transportadora?

Es un sistema de transporte, continuo, compuesto básicamente por una banda que se desplaza entre dos tambores, un motriz y un conducido. Esta, es arrastrada por fricción gracias al tambor motriz, el cual recibe el movimiento de un motor eléctrico, mientras que el tambor conducido gira libremente y actúa como retorno a la cinta. A lo largo del recorrido, la banda se apoya en rodillos para evitar deformaciones. Como resultado del movimiento, el material depositado sobre la cinta es trasladado hacia el tambor motriz, donde la banda gira y retorna en sentido contrario, provocando que el material se descargue por gravedad en un punto de acopio en la siguiente etapa del proceso [1].

1.2.2 Historia de la cinta transportadora

El desarrollo de las cintas transportadoras ha pasado por distintas etapas, marcadas por avances en materiales, diseño y aplicaciones. De acuerdo con lo señalado por CEMA [1] y Roverts [9], algunos hitos relevantes en su evolución son los siguientes:

- Año 1795: Invención por Oliver Evans, en U.S.A. Primera cinta empleada en el transporte de grano; cinta descendente automotriz cuyo material era de cuero o lona.
- Año 1859: Instalación de cintas en el canal de Suez para la construcción del mismo por Fernando de Lesseps.
- Año 1860: Instalación en Siberia de un conjunto de cintas, para el transporte de arena, por el Ingeniero Ruso Lopatine.
- Año 1868: Grahan Wesmacott y Lyster emplearon cintas de lona recubiertas con goma usando rodillos planos con los extremos levantados, en este diseño, la velocidad de la banda no era constante, causando un rápido desgaste en los bordes de la misma. Entonces, fue necesario utilizar rodillos planos, pero su consecuencia fue la disminución la capacidad de la banda. En este año, también se montaron los primeros dispositivos de descarga “trippers”.

- Año 1885: En Estados Unidos Thomas Robbins, inventó la terna de rodillos solucionando los problemas de desgaste de la banda. Wesmacott y Lyster aumentaron la capacidad de transporte utilizando este sistema en sus instalaciones. Actualmente se conserva este diseño de rodillos.
- Año 1900: Invención del Sándwich-Conveyor. Una variación del mismo fue desarrollada por la firma Stephens Adamson, y es conocida como el Loop Conveyor, esta cinta se usó inicialmente para la descarga de barcos, alcanzando gran éxito, tanto que el sistema es empleado actualmente.
- Año 1919: Desarrollo de la cinta Booster. Una variante de la cinta del sistema HORSTEMANN, que fue realizada por la firma alemana Krupp, en cooperación con la RHEINNISCHE BRAUNKOHLLENWERKE A.G. de Colonia.
- Años 1920-1950: El transporte por cinta experimentó un gran avance durante este periodo, aunque algo retardado, porque las bandas de algodón empleadas, al no ser de gran resistencia, obligaban a usar un gran número de telas (hasta 8), siendo poco flexibles. Además, requerían el empleo de una terna de rodillos de solo 20° y tambores de gran diámetro. En esos años también se instaló la primera banda Steelcord, en Estados Unidos (1942) y se inventó el Cable Belt (1949), pero hasta 1953 no se hizo uso de ella, instalándose en la mina Frances Colliery, Escocia, con una longitud de 720 m y una capacidad de 170 T/hora. [1], [9]
- Año 1960: Invención de las bandas de Poliéster, que desplazaron rápidamente a las de algodón debido a su alta resistencia, produciendo un aumento en la capacidad y las longitudes de transporte.
- Año 1963: Empleo de las cintas con curvas horizontales en el metro de Paris, para la extracción de materiales. Más tarde, se instaló el mismo sistema en la mina subterránea de Ouenza, en Marruecos. En la actualidad, hay instaladas más de 80 cintas, principalmente por firmas alemanas.
- Año 1965: Inicio del empleo generalizado de las bandas ST Steelcord, originando un cambio similar al experimentado al pasar de las bandas de algodón a las de poliéster.

- Año 1970: Invención del Pipe Conveyor (Cintas Tubulares) por JAPAN PIPE CONVEYOR, siendo muy exitosas. En este año también se inventa la cinta AEROBELT (cinta con cojín de aire), desarrollada por el profesor JONKERS junto con la firma holandesa SLUIS Machinefabrik.
- Año 1973: Invención del Pinch Roll Drive Conveyor, desarrollada por B.F. GOODRICH de USA. Fue poco exitosa, pues solo se instaló en una mina subterránea de Nuevo México.
- Año 1977: La cinta Flexowell, (cinta de gran inclinación) desarrollada por la firma alemana CONRAD SCHOLTZ, se presentó en la feria de HANNOVER del año 1977, esta cinta cumplía con los mismos objetivos de la cinta sándwich o la H.A.C (High Angle Conveyor).

1.2.3 Ventajas de utilizar cintas transportadoras dentro de la industria

Las cintas transportadoras presentan múltiples beneficios frente a otros sistemas de transporte de materiales, tanto a nivel técnico como económico y ambiental. Según CEMA [1] y Kennedy [6], algunas de las principales ventajas son las siguientes:

○ **Transportes a largas distancias**

Capacidad de transportar materiales a granel en distancias cada vez más extensas con bajo coste de energía y menores costos de operación. Además, reduciendo los aumentos de contratación de fuerza de trabajo.

○ **Ventajas medioambientales**

En comparación con otro medio de transporte, como los camiones, las cintas operan silenciosamente reduciendo la emisión de ruidos molestos, no contaminan el aire, además, no generan contaminación con hidrocarburos o polvo en el traslado.

- **Bajo coste de mantenimiento**

Las cintas transportadoras, por lo general, solo necesitan de inspecciones rutinarias y rutas de lubricación. Por lo que, reduce las detenciones no programadas. Así también, los componentes son de rápido y fácil acceso, lo que permite un menor tiempo de mantenimiento y con el mínimo de equipos de servicios.

- **Transporte de gran variedad de material (Versatilidad)**

Las cintas, pueden trasladar desde piedras, carbón, hasta grandes rocas y químicos polvorientos y finos. Esto, siempre y cuando sea con el material de cinta adecuado para cada elemento a transportar para disminuir la degradación de ambos materiales. Ejemplo, la cinta de caucho es muy resistente a la abrasión y corrosión.

- **Funcionalidad del proceso**

En el traslado del material, a través de la cinta, se pueden realizar numerosas funciones durante el proceso. Por ejemplo, seleccionar por color, tamaño, forma, así también, extraer cuerpos extraños o rociar con algún producto el elemento transportado.

1.3 PRINCIPALES TIPOS DE MANTENIMIENTO

1.3.1 Mantenimiento Correctivo

También llamado mantenimiento reactivo. Esta actividad técnica es realizada después que se produce una avería y su objetivo es restaurar el activo a una condición de funcionamiento normal, ya sea reparando o sustituyendo la parte afectada.

Este tipo de mantenimiento se utiliza en activos de baja prioridad, en los cuales las operaciones de la empresa no se ven afectada y pueden seguir funcionando normalmente. O de bajo costo, ya que el costo de realizar mantenimiento o supervisión constante puede resultar más caro que la sustitución o reparación del activo. Además, el costo de implementación es muy bajo teniendo en cuenta que no hace falta programar para este tipo de mantenimiento.

Aplicando el mantenimiento correctivo a la cinta transportadora, tenemos el cambio de polines una vez que el eje se corta producto del trabajo constante, por estar sometidos a tensiones variables debido al producto que transporta o cargas excesivas.



figura - 1-2: Polín con eje cortado.

Fuente: Elaboración propia.

Otra reparación reactiva son los rodamientos de los descansos de los polines que sufren avería producto de la contaminación por polución del coque o simplemente cumplen su vida útil.



figura - 1-3: Instalación de rodamiento.

Fuente: Elaboración propia.

Así también, se realiza el cambio de cinta cuando se encuentra con cortes o demasiado estiramiento en ella.



figura - 1-4: Cambio de cinta.

Fuente: Elaboración propia.

1.3.2 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo es la oposición al mantenimiento correctivo, en lugar de esperar a que ocurra algún evento no esperado en el activo, éste tiene por objetivo prevenir alguna falla.

Este tipo de mantenimiento ocurre de forma programada y de modo cíclico, independiente de la condición del equipo, con el fin de evitar fallas y minimizar las consecuencias de detenciones no programadas. La frecuencia se basa en las recomendaciones de los fabricantes y designando una valoración de la vida útil del activo. En cuanto mayor sea el riesgo de que ocurra una falla, mayor es la necesidad de implementar el mantenimiento preventivo para aumentar la vida útil del activo.

Ejemplos de tareas que se realizan al ejecutar el mantenimiento preventivo incluyen acciones como revisiones periódicas, inspecciones visuales, limpieza y lubricación de articulaciones o piezas móviles.

Aplicando el mantenimiento preventivo a la cinta transportadora tenemos la inspección visual de la cinta para verificar que no presente fisuras o deformaciones, comprobar la tensión y alineación de la cinta.



figura - 1-5: Verificando fisuras en cinta.

Fuente: Elaboración propia.



figura - 1-6: Comprobando tensión de cinta.

Fuente: Elaboración propia.

En polines se realiza inspección visual para verificar que estén centrados, asegurarse de que giren y sus rodamientos no estén agripados. También se realiza una limpieza por acumulación de coque para evitar que la cinta se monte sobre el producto.

Así también se ejecuta una ruta de lubricación para verificación de condición de aceite de los reductores y engrase para los descansos de polines.



figura - 1-7: Acumulación de coque.
Fuente: Elaboración propia.



figura - 1-8: Puntos de engrase de descansos de polines.
Fuente: Elaboración propia.

1.4 TEORÍA BÁSICA DE LA LUBRICACIÓN

La lubricación ha acompañado el desarrollo de la ingeniería desde los primeros sistemas mecánicos. Su objetivo principal es reducir la fricción, el desgaste y la temperatura de contacto entre superficies, asegurando así un funcionamiento más eficiente y prolongando la vida útil de los equipos. Según Mobley [7] y SKF Group [10], la lubricación es uno de los pilares del mantenimiento preventivo, siendo clave en la disponibilidad y confiabilidad de los activos.

1.4.1 Historia de la lubricación

Surge la necesidad, por parte del ser humano, de prevenir roces, corrosión o disminuir la temperatura en el uso de herramientas. Los primeros lubricantes eran grasas de animales o cal mezclado con vegetales. Luego, con la invención de máquinas de hierro y cobre, que requieren un aceite de mejor calidad, es cuando nace mejorar calidad del aceite por el aceite de ballena, pero siempre manteniéndose en la misma línea de origen vegetal o animal. Sin embargo, la mayoría de los aceites utilizados hasta ese entonces era por solamente experiencia y no por análisis del lubricante.

Debido a las guerras mundiales, el tener buenos lubricantes era esencial para mantener las máquinas en funcionamiento, ya que, cumplían un rol fundamental en la producción. Por lo que, pasó de ser algo imprescindible a algo muy imprescindible.

Actualmente, la lubricación busca la mayor eficiencia y eficacia de los procesos productivos a base de estudios, análisis y métodos para aumentar y/o asegurar la vida útil de los activos.

1.4.2 Aceites lubricantes

Los aceites lubricantes son sustancias fundamentales en la reducción de fricción y desgaste, ya que forman una película entre las superficies de contacto y permiten el movimiento continuo de los componentes mecánicos. Además, ayudan a controlar la temperatura, reducir la corrosión y prolongar la vida útil de las máquinas. Según Mobley [7] y Totten [14], el desempeño de un lubricante depende tanto de su composición base como de los aditivos que se le incorporen.

1.4.3 Fricción

La fricción o roce entre dos superficies corresponde a la fuerza que:

- Se opone al movimiento de una superficie sobre la otra (fuerza de fricción cinética).
- Se opone al inicio del movimiento (fuerza de fricción estática).
- Se genera debido a las imperfecciones entre las superficies de contacto.

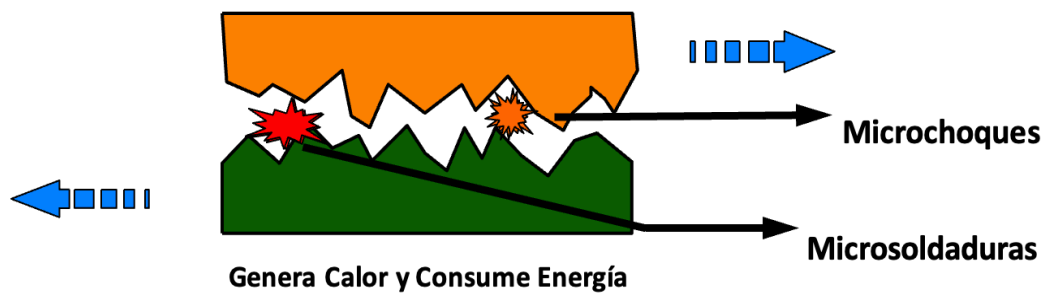


figura - 1-9: Explicación gráfica de fricción.

Fuente: Curso Principios básicos de la lubricación, COPEC.

Los efectos negativos de la fricción son:

- Pérdida de energía.
- Aumento de temperatura.
- Desgaste de piezas mecánicas.

1.4.4 Desgaste

Se define como el arranque superficial de material debido a una acción mecánica (abrasiva), o a una acción química (corrosiva). El desgaste puede originarse por:

- Presencia de partículas contaminantes.
- Partículas de desgaste de componentes.
- Partículas producto de la combustión.

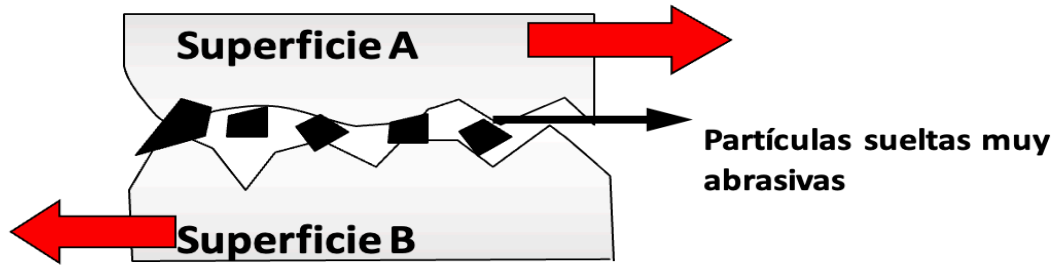


figura - 1-10: Explicación gráfica de desgaste.

Fuente: Curso Principios básicos de la lubricación, COPEC.

1.4.5 ¿Cómo evitar la fricción y desgaste?

Algunas de las principales estrategias para reducir la fricción y el desgaste son:

- Alisar las superficies.
- Sustituir deslizamientos por rodaduras.
- Aplicar lubricantes adecuados que generen una película protectora entre las piezas.

1.4.6 ¿Qué es un lubricante?

Un lubricante es una sustancia que se coloca entre dos piezas móviles, formando una película que impide su contacto, permitiendo su movimiento incluso a elevadas cargas y presiones. Existen diferentes tipos de lubricantes:

- Líquidos: a este grupo pertenecen los diferentes aceites de lubricantes, sean con base mineral o sintética.
- Semisólidos: Generalmente los conocemos como grasas. Son lubricantes fluidos muy densos, que están compuestos básicamente por aceites, un agente espesante además de aditivos.
- Sólidos: están formados por algunos materiales cuya composición molecular ofrece una resistencia mínima y pueden añadirse a las piezas, para permitir su movimiento sin el aporte de un lubricante líquido o semisólido.

1.4.7 Composición del aceite

Los aceites lubricantes se componen por un aceite base, generalmente derivado de la refinación del petróleo y un paquete de aditivos que le confieren propiedades deseadas para las diferentes exigencias de la industria.

1.4.7.1 Parámetros físico-químicos

- **Viscosidad**

Es la medida de la resistencia natural de un fluido al escurrir. Se puede medir en Centistokes (cSt) o segundos Saybolt (SSU). La viscosidad de todos los fluidos decrece con la temperatura, pero no todos en la misma medida.

- **Índice de viscosidad**

No todos los lubricantes disminuyen su viscosidad de igual forma. El índice de viscosidad es un número que mide la variación de la viscosidad con respecto a la temperatura. A mayor índice de viscosidad menos es la variación de la viscosidad con la temperatura, es decir, un aceite más estable.

- **Gravedad específica**

Es la relación del peso del lubricante v/s el agua. Son valores entre 0.85 y 0.93. Si un lubricante tiene una gravedad específica de 0.85, quiere decir que pesa un 85% de lo que pesa el agua.

- **Punto de inflamación**

Es la temperatura a la cual el aceite empieza a emitir vapores capaces de combustionar, es decir, si a los vapores que expende el aceite lubricante se les acerca una llama, este se inflama.

- **Punto mínimo de escurrimiento**

Es la temperatura mínima a la cual el aceite deja de escurrir.

- **Número Total Básico (T.B.N)**

Es la carga alcalina de los aceites básicos que sirve para contrarrestar el ácido que se forma en la combustión. Se mide en mg-KOH/g.

Los valores normales de TBN para aceites de motor fluctúan entre 8,5 y 15,5 mg-KOH/g para combustibles Diesel y bencinas normales.

Para combustibles con mayor contenido de azufre como los IFO, se debe usar lubricantes con TBN mayores entre 20 a 70 mg-KOH/g.

- **Aditivos**

Compuesto químico que se agrega al aceite base para mejorar alguna característica del aceite base, impartir alguna nueva característica al aceite base, reducir la velocidad a la cual ocurren cambios no deseados en el aceite durante su operación.

Los tipos de aditivos más utilizados son: mejorador de índice de viscosidad (IV), extrema presión (EP), antidesgaste (AW), antioxidantes (AO), detergentes, dispersantes, inhibidores de herrumbre, antiespumantes, demulsificadores y depresores del punto de escurrimiento.

- **Clasificación de lubricante según su viscosidad**

- S.A.E.: Sociedad de Ingenieros Americanos, define una forma de clasificar los lubricantes de motor y transmisión según sus viscosidades (grados SAE).
- ISO: Organización Internacional de Estándares, clasifica los aceites hidráulicos y otros según su viscosidad a 40°C.
- AGMA: Asociación Americana de Fabricación de Engranajes, clasifica los lubricantes en función de la viscosidad y la cantidad de aditivos EP, antiherrumbre y antioxidante.

1.5 NORMATIVAS Y APLICACIONES INDUSTRIALES PARA ACEITES

La operación de cintas transportadoras y la gestión de lubricación de sus componentes no solo dependen de la experiencia técnica, sino también de normas y estándares internacionales que orientan las buenas prácticas en la industria. Estas normas permiten garantizar seguridad, calidad, continuidad operacional y eficiencia en el mantenimiento.

- **Normas ISO:** La ISO 9001 establece lineamiento para sistemas de gestión de calidad, incluyendo procesos de mantenimiento. Por su parte, la ISO 55000 se centra en la gestión de activos físicos, recomendando prácticas que aseguren la disponibilidad y confiabilidad de equipos críticos como las cintas transportadoras [5].
- **Normas DIN:** La norma DIN 51825 regula la clasificación de grasas lubricantes según sus propiedades y aplicaciones, lo que permite seleccionar productos adecuados a condiciones de operación específicas, como las de los rodamientos de las cintas [3].
- **Estándares de seguridad industrial:** Organismos como OSHA han establecido lineamiento para la operación segura de cintas transportadoras, incluyendo medidas de protección personal y planes de mantenimiento preventivo [8].
- **Aplicaciones en minería y refinación:** en minería, las cintas transportadoras son esenciales para mover grandes volúmenes de material desde el área de extracción hasta plantas de chancado y almacenamiento. En refinerías, como el caso de ENAP, son utilizadas para transportar coque y otros subproductos, siendo críticos los planes de lubricación en sus rodamientos para evitar detenciones no programadas (SFK Group, 2021).
- **Tipos de cintas transportadoras en la industria:** además de las cintas convencionales, existen variaciones como las cintas tubulares (*pipe Conveyor*), las cintas de gran inclinación (*Flexowell*) y las cintas con cojín de aire (*Aerobelt*), que permiten adaptarse a entornos de alta exigencia, largas distancias o condiciones ambientales adversas.

CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE LA FALLA DEL DESCANSO DEL TAMBOR
NIVELACIÓN EN LA CINTA TRANSPORTADORA DE COQUE CR-1401

2.1 COMPAÑÍA SERVICIOS INDUSTRIALES

2.1.1 Presentación

Compañía de Servicios Industriales (CSI LTDA). Filial de COPEC, fue creada el 14 de marzo de 2007 con el objetivo principal de prestar servicios industriales en las actividades de: administración, almacenamiento, distribución y comercialización, tanto por cuenta propia como de terceros en toda clase de lubricantes y combustibles. Prestación de servicios de administración de depósitos de los productos mencionados anteriormente, en empresas industriales del sector de mineras, pesqueras, forestales o de otra especialidad. Prestaciones de servicios de mantención y reparación de equipos y maquinarias que utilicen lubricantes, combustibles y servicios de asistencia técnica para el uso de estos mismos. (CSI, 2023)

En sus inicios, la empresa operó en la Zona Norte, específicamente Antofagasta, en donde la administración gestiona los depósitos mineros. Posteriormente se consolidó en la zona sur como prestadora de servicios de Lubricación industrial bajo la modalidad de outsourcing.

Actualmente, ENAP Refinerías Bío-Bío, cuenta con CSI, como empresa contratista en el área del Departamento de Ingeniería y Mantención, bajo el contrato de “Lubricación general de equipos rotatorios”. En este contexto, mantengo el cargo de Técnico Lubricador, teniendo como responsabilidad la ejecución de rutas de lubricación, recomendaciones técnicas y entrega de información para la operación óptima de los equipos.

El presente tema surge a raíz de un evento inesperado en la lubricación de la cinta transportadora CR-1401, que generó consecuencias en la continuidad operacional. Tal como señalan SFK (2021) y Mobley (2002), las fallas por lubricación deficiente son una de las causas más frecuentes de detención y equipos rotatorios, lo que evidencia la necesidad de revisar y mejorar los planes de mantenimientos aplicados.

2.2 FUNCIÓN DEL PROCESO DE TRANSPORTE DE COQUE

2.2.1 Proceso en el cual interviene cinta transportadora CR-1401

Esta cinta forma parte de la línea de manejo de coque de la Unidad de Coque Retardado en ENAP Refinerías Bío-Bío. Su función principal es trasladar el coque desde la zona de descarga del triturador primario hacia el área de almacenamiento, garantizando la continuidad operacional del proceso. Para entender su relevancia, es necesario describir cada uno de los equipos que interactúan en este flujo de trabajo. A continuación, se describen:

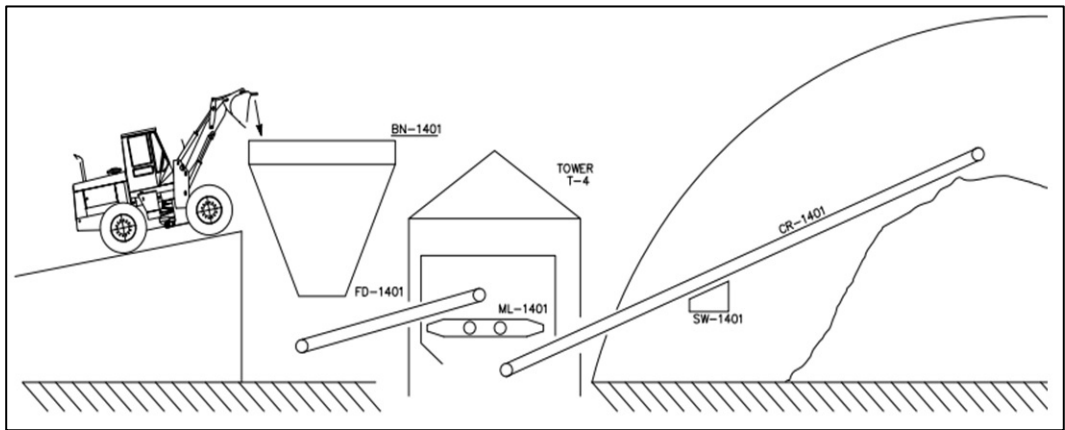


figura - 2-1: Primer proceso de coque.

Fuente: Manual de operaciones, división Coker, ENAP.

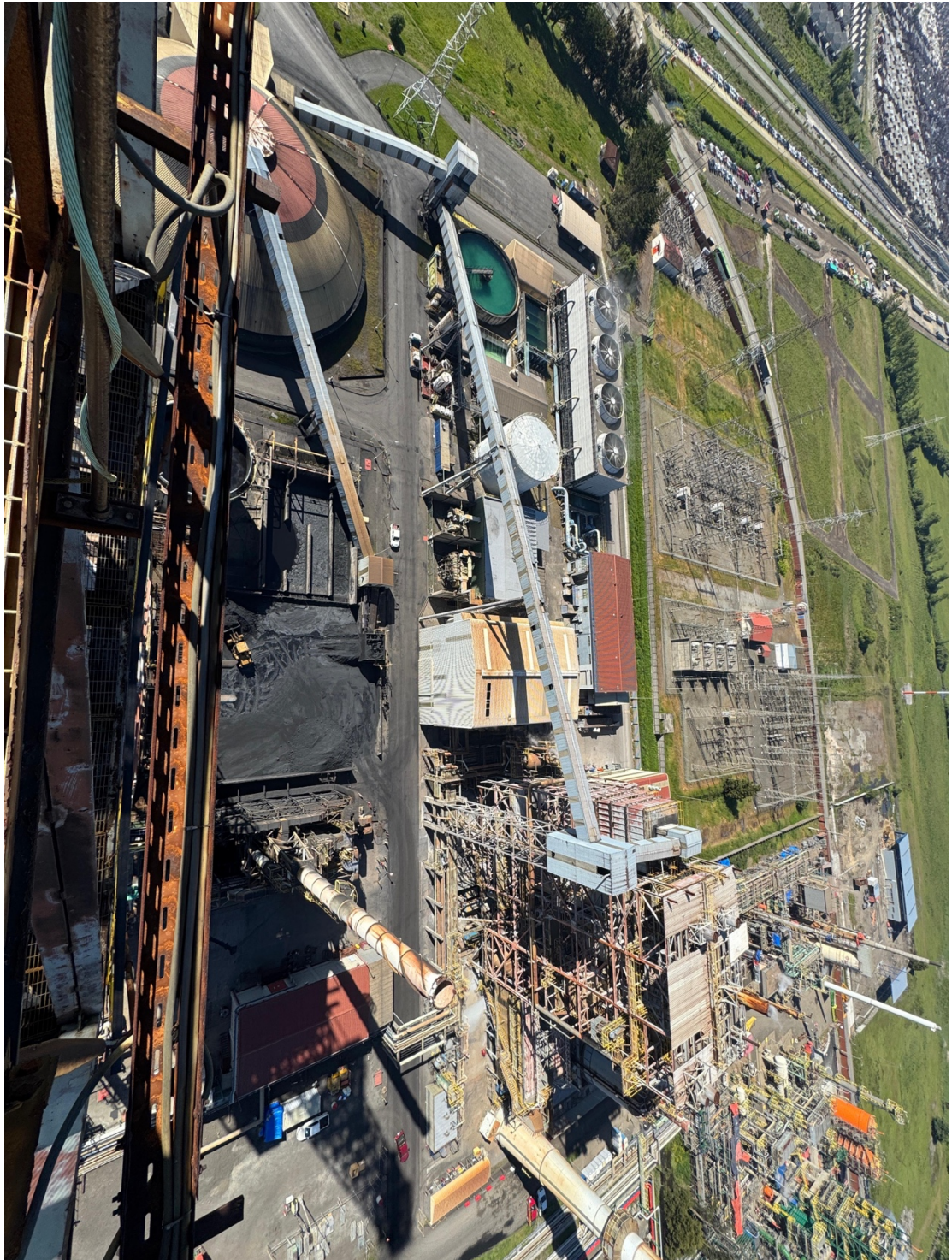


figura - 2-2: Vista aérea de proceso de transporte de coque.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.1.1 BN-1401 – parrilla y tolva de entrada de material de coque

La parrilla y la tolva de entrada de coque se ubican en el Pad de Almacenaje de Coque en la Unidad de Coque Retardado. Su función es recibir el coque de petróleo desde los cargadores frontales. La parrilla se encuentra en la parte superior de la Tolva de Entrada y es una rejilla de acero removible con espacios de 300 mm por 300 mm, tiene por objetivo

limitar el tamaño de los trozos de coque que ingresan a la tolva a 300 mm. La tolva por su parte tiene capacidad para almacenar 25 m³ de Coque.

El diseño contempla que, en caso de que material quede atrapado, los operadores puedan liberar residuos mediante empuje con el balde del cargador frontal. De esta forma, se asegura un flujo constante y uniforme hacia el transportador siguiente, evitando atascos y reduciendo la probabilidad de detenciones no programadas.



figura - 2-3: Parrilla y tolva de entrada de material de coque.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.1.2 FD-1401 – transportador de alimentación del triturador de coque primario

Es el encargado de trasladar el material desde la tolva de entrada hacia el triturador primario de coque. Es un transportador de tipo ascendente con una inclinación de 15° y una correa de caucho de 600mm de ancho, diseñada para soportar condiciones de abrasión y carga continua.

La capacidad normal de operación es de 100 tn/hr. aunque puede manejar sobrecargas momentáneas. La correa se apoya en un sistema de polines:

- **Polines de canal profundo**, que ayudan a mantener la forma de la banda y evitar derrames.
- **Polines de Impacto**, ubicados en la zona de carga, para absorber la energía de los fragmentos de coque.
- **Polines de subida y retorno**, que garantizan la estabilidad y el tensado adecuado de la banda.



figura - 2-4: Transportador de alimentación del triturador de coque primario.

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la seguridad, el FD-1402 dispone de botones de emergencia en puntos estratégicos, cuerdas de tiro a lo largo de la estructura, switches de velocidad que detienen la operación en caso de anomalías, y un switch de nivel que corta el funcionamiento si se detecta obstrucción en la descarga. Estos sistemas buscan proteger tanto a los trabajadores

como al equipo, alineándose con normativas de seguridad industrial (ENAP, 2023; OSHA, 2020)

2.2.1.3 SW-1401 – báscula de cinta

La función de la SW-1401 es medir y registrar en línea el peso del coque triturado o molido a medida que éste se desplaza a lo largo del Transportador de Coque hacia el Transportador de Almacenaje, CR-1401. Este sistema utiliza un totalizador conectado al PLC de la sala de control de Coker, lo que permite monitorear de manera continua el flujo de material. El control de peso es fundamental, no solo para la operación eficiente, sino también para la trazabilidad y planificación de la producción. La información recolectada por la báscula permite identificar desviaciones en el proceso y tomar decisiones oportunas para corregirlas.

2.2.1.4 CR-1401 – transportador de coque hacia el almacenaje

La CR-1401 es la cinta principal en este proceso. Su función es transportar el coque grueso desde la descarga del triturador primario (ML-1401) hasta el Área de Almacenaje. Se trata de un transportador de tipo ascendente, con una longitud aproximada de 90 metros y una inclinación de 15°. La correa, fabricada de caucho de 600mm de ancho, está diseñada para soportar partículas de coque con tamaños de 5 y 300mm. La capacidad normal de operación es de 100 ton/hora, pudiendo llegar a 150 ton/hora en condiciones máximas de carga.

La estructura de la CR-1401 está montada sobre un marco de acero y se apoya en polines de canal profundo, de impacto, de subida y de retorno. Para asegurar un funcionamiento adecuado, incorpora limpiadores de correa ubicados en los tambores motriz y de cola, los cuales evitan la acumulación de material adherido.

En materia de seguridad, este transportador cuenta con botoneras de emergencias, cuerdas de tiro para detenciones manuales y switches de velocidad y nivel que actúan automáticamente ante cualquier anomalía. Todo ello garantiza la continuidad operacional y protege al personal que trabaja en su entorno.



figura - 2-5: Transportador de coque hacia el almacenaje.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.1.5 SE-1401 – separador magnético

La función del SE-1401 es remover los materiales ferrosos y el metal del coque verde triturado antes de que éste sea depositado en el área de almacenaje de coque.

El SE-1401 se encuentra en la CR-1401.

El SE-1401 es de tipo electro-magnético.

El electro-magneto es energizado por medio de electricidad (380V, 3 fases, 50 Hz).

El magneto permanente tiene fuerza magnética residual suficiente como para mantener contacto con el material ferroso en caso de pérdidas de energía.

2.2.1.6 Almacenaje

El domo de almacenaje de Coque en la Unidad de Coque Retardado, su función es recibir el coque de petróleo desde la cinta principal para luego ser enviado a los alimentadores de la caldera.



figura - 2-6: Domo de almacenaje de coque.

Fuente: Elaboración propia.

2.3 IDENTIFICAR EL ORIGEN DE LA FALLA EN CINTA TRANSPORTADORA DE COQUE CR-1401

De acuerdo con lo informado por el personal de operaciones de la planta de Coker, se detectó un aumento inusual de temperatura en el descanso del tambor de nivelación de la cinta larga CR-1401, designado por la sigla “A1”. Se presenta desgaste abrasivo por contaminación ingresada, fractura y desprendimiento de elementos rodantes. Ante esta condición, se solicitó el retiro del componente y el reemplazo del rodamiento, permitiendo dar continuidad a las operaciones.

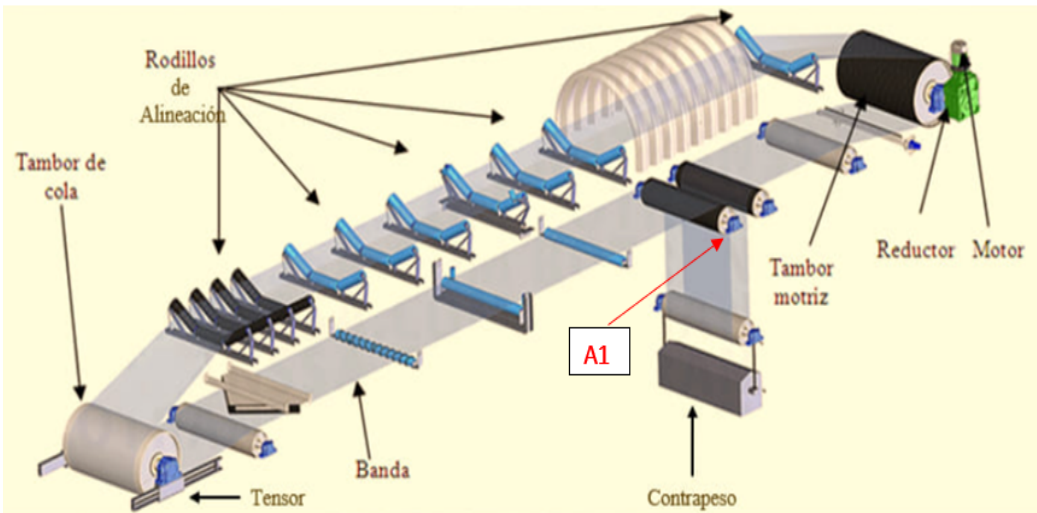


figura - 2-7: Plano simplificado cinta transportadora CR-1401.

Fuente: Manual de operaciones, división Coker, ENAP.

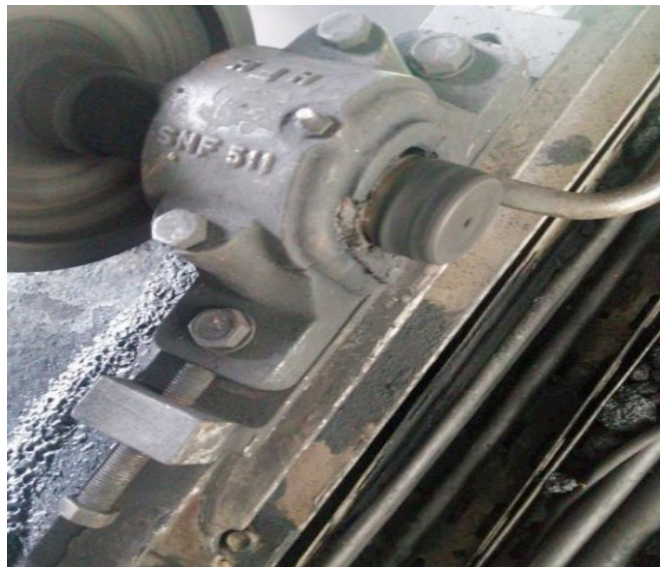
2.3.1 Tambor y descanso CR-1401

El tambor cumple una función esencial dentro del sistema, ya que permite mantener la tensión adecuada de la banda y asegurar que el material sea transportado de manera continua hacia el punto de descarga.

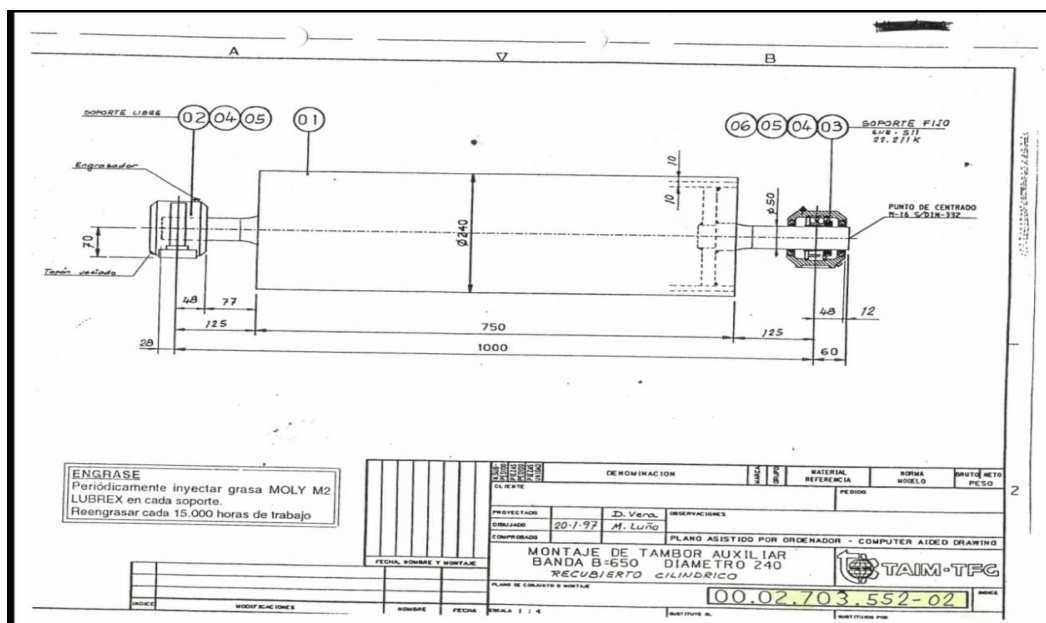
Se ubica en la parte inferior de la estructura de la cinta y se encuentra apoyado sobre descansos, los cuales contienen los rodamientos que facilitan su giro. Los descansos cumplen la labor de sostener el tambor y permitir que este gire libremente, soportando tanto el peso propio de la banda como la carga de material que se transporta.

Durante la operación, el tambor está sometido a esfuerzos mecánicos constantes derivados de la fricción de la correa, el peso del coque transportado y las vibraciones del sistema. Estas condiciones hacen que el tambor y sus descansos sean considerados

En conjunto, el tambor y los descansos garantizan que la correa se mantenga en la posición y tensión adecuadas, permitiendo un transporte seguro, estable y eficiente del material a lo largo de la CR-1401.



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Manual de operaciones, división Coker, ENAP.

2.4 SITUACIÓN ACTUAL DE LA CINTA TRANSPORTADORA CR-1401

Actualmente, la cinta transportadora CR-1401 opera como parte del sistema de manejo de coque en la Unidad de Coque Retardado de ENAP Refinerías Bío-Bío. Su función es trasladar el coque grueso desde el triturador primario hasta el área de almacenaje, apoyándose en el tambor de nivelación y sus descansos, que cumplen un rol crítico en la continuidad del proceso.

El entorno en que se encuentra la CR-1401 es altamente exigente. El coque, por sus características abrasivas y polvorientas, genera un ambiente de operación que afecta directamente a los componentes del tambor y a los rodamientos de los descansos. Esta condición incrementa el riesgo de desgaste prematuro y de fallas asociadas a deficiencias en la lubricación.

Si bien el sistema se mantiene en operación, presenta vulnerabilidades que se han hecho evidentes a partir de las inspecciones realizadas en terreno. En las cercanías del descanso “A1” se observa acumulación de material y exposición a contaminantes, lo que confirma que las rutinas de lubricación y control aplicadas hasta ahora no resultan totalmente efectivas frente a las condiciones reales de trabajo.

En consecuencia, la situación actual refleja la necesidad de revisar y mejorar los procedimientos de mantenimiento, con el fin de evitar la recurrencia de fallas en componentes críticos y asegurar la continuidad operacional de la cinta CR-1401.

2.5 PROBLEMA DETECTADO

El problema detectado en la cinta transportadora CR-1401 se origina en el descanso “A1” del tambor de nivelación. Durante la operación, este componente presentó un aumento progresivo de temperatura, lo que llevó a detener el equipo para realizar la inspección correspondiente.

Al revisar el descanso, se constató que el rodamiento se encontraba severamente dañado. El análisis visual mostró desgaste abrasivo y fractura de los elementos rodantes, además de signos de contaminación por partículas de coque en la grasa lubricante. Esta condición provocó que el lubricante perdiera sus propiedades, dejando al rodamiento sin la película protectora necesaria y acelerando el contacto metal-metal entre sus componentes.

Las consecuencias de esta falla se evidenciaron de inmediato en distintos niveles:

- Operacionales: La detención de la CR-1401 interrumpió el traslado de coque desde el triturador primario hacia el área de almacenaje, afectando el flujo normal de la planta. Esta situación generó retrasos en el proceso productivo y obligó a redistribuir cargas hacia otros equipos para mitigar la acumulación de material. La paralización también incidió en la coordinación de las operaciones posteriores, ya que el coque es un insumo crítico dentro de la cadena productiva de la refinería.
- Económicas: La sustitución del rodamiento implicó costos directos asociados a la adquisición del repuesto y a las horas-hombre invertidas en el desmontaje, instalación y pruebas posteriores. A esto se suman los costos indirectos derivados del tiempo de inactividad, donde la planta dejó de producir a plena capacidad. Considerando que el coque es un subproducto de valor comercial, toda detención prolongada representa pérdidas para la empresa.
- De seguridad: El funcionamiento anormal del rodamiento incrementó las vibraciones en el tambor de nivelación, lo que pudo haber provocado desprendimientos adicionales de material o incluso una rotura mayor si no se hubiese detenido a tiempo. Este escenario habría representado un riesgo tanto para el personal en terreno como para la integridad de la cinta transportadora completa.

El problema detectado en el descanso “A1” refleja, en consecuencia, la vulnerabilidad del sistema frente a las condiciones reales de operación. Más allá de la falla puntual, pone en evidencia la necesidad de revisar los procedimientos de lubricación y control aplicados, para adaptarlos al ambiente abrasivo en que trabaja la CR-1401. Sin un plan de mantenimiento preventivo adecuado, es altamente probable que incidentes similares se repitan, comprometiendo la continuidad operacional, aumentando los costos de mantención y generando riesgos adicionales para la seguridad de las personas y los equipos.



figura - 2-10: Rodamiento descanso contaminado.

Fuente: Elaboración propia.



figura - 2-11: Exceso de lubricación.

Fuente: Elaboración propia.

2.5.1 Conclusiones parciales del análisis de la falla

El análisis realizado en este capítulo permite comprender la relevancia de la cinta transportadora CR-1401 dentro del proceso de manejo de coque y, al mismo tiempo, identificar los puntos críticos que condicionan su desempeño. La descripción del tambor de nivelación y de sus descansos demuestra que estos componentes cumplen un rol esencial en la continuidad de la operación, pues cualquier alteración en su funcionamiento afecta directamente al sistema completo.

La situación actual observada en terreno, junto con la detección del problema en el descanso “A1”, confirma que las condiciones de trabajo de la CR-1401 son altamente exigentes y que las rutinas de lubricación aplicadas hasta ahora no han resultado totalmente efectivas frente al ambiente abrasivo del coque. La falla del rodamiento generó consecuencias operacionales, económicas y de seguridad que no solo impactaron en la disponibilidad de la cinta, sino también en la planificación general de la planta.

En consecuencia, la experiencia recogida en este análisis deja en evidencia la necesidad de fortalecer el plan de mantenimiento preventivo, adaptándolo a las condiciones reales de operación. Esta conclusión parcial se convierte en el punto de partida para la propuesta de mejora que se desarrollará en el siguiente capítulo.

2.6 MÉTODOS DE ANÁLISIS PARA ENCONTRAR CAUSA PRINCIPAL DE FALLA

2.6.1 Diagrama Ishikawa

Para comprender de manera integral las posibles causas que dieron origen a la falla en el descanso del tambor de nivelación de la cinta transportadora CR-1401, se aplicó la metodología del diagrama de Ishikawa (Ishikawa, 1986), también conocido como diagrama de espina de pescado o de causa–efecto. Esta herramienta es ampliamente utilizada en la gestión de calidad y mantenimiento, ya que permite organizar de forma estructurada los distintos factores que intervienen en un problema.

En el presente caso, el “efecto” principal corresponde a la falla en el descanso de la CR-1401, la cual generó la detención no programada del equipo. A partir de este punto se identificaron cuatro grandes categorías de causas: Método, Maquinaria, Materiales y Factor Humano.

- Método: Dentro de esta categoría se detectaron deficiencias asociadas a la frecuencia errónea de engrase, la ausencia de un procedimiento estandarizado de trabajo y el incumplimiento parcial de la ruta de lubricación. Estas desviaciones en la planificación y ejecución repercuten directamente en la calidad del mantenimiento.
- Maquinaria: Se observaron condiciones técnicas que pudieron influir en la falla, tales como el trabamamiento de polines, desgaste en la correa y exceso de carga sobre la cinta. Estos factores aumentan la exigencia mecánica del descanso, reduciendo la vida útil del rodamiento.
- Materiales: Aquí se identificó el uso de lubricante inadecuado en ciertas aplicaciones, así como la posibilidad de engrasadoras defectuosas que no entregaban la cantidad correcta de grasa. Ambos puntos afectan la formación de la película lubricante y favorecen el ingreso de contaminantes.
- Factor humano: Finalmente, se incluyeron causas vinculadas a la falta de experiencia de algunos técnicos, la carencia de capacitación específica y la presión por cumplir con tiempos reducidos. Esto genera riesgos de aplicar exceso o déficit de lubricante, con la consecuente afectación del desempeño del rodamiento.

El análisis del diagrama Ishikawa permitió visualizar que la falla no responde a una única causa aislada, sino a la combinación de múltiples factores que interactúan entre sí. Esta perspectiva integral es fundamental para definir acciones correctivas que aborden tanto los aspectos técnicos como los organizacionales.

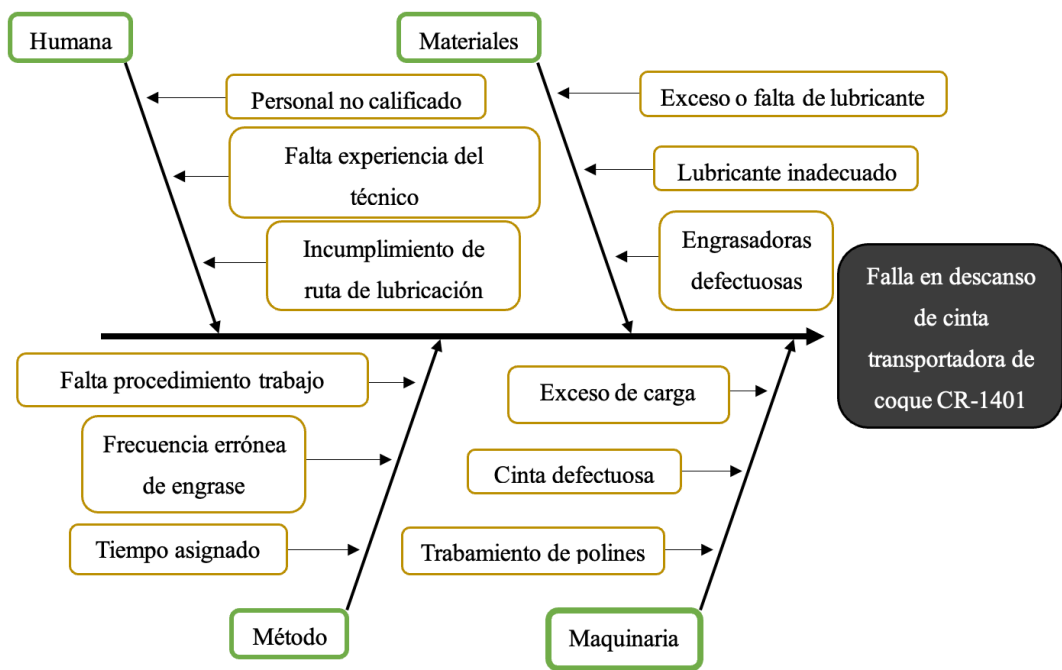


figura - 2-12: Diagrama Ishikawa.
Fuente: Elaboración propia.

2.6.2 Árbol de problemas

Complementando el diagrama Ishikawa, se elaboró un árbol de problemas con el objetivo de representar gráficamente la relación entre el problema central, sus causas y sus consecuencias. El problema identificado fue la detención de la cinta transportadora CR-1401 debido a la falla en el descanso del tambor de nivelación.

En la base del árbol se ubican las causas raíz, entre las que destacan: la dosificación inadecuada de lubricante, la frecuencia errónea de engrase, el incumplimiento de la ruta establecida, el uso de un lubricante no del todo adecuado para las condiciones de operación y el trabamiento de polines. También se incluye la falta de experiencia de los operadores y el sellado deficiente, que permitió el ingreso de contaminantes como partículas de coque.

Estas causas generan un problema intermedio: la lubricación deficiente, que a su vez se traduce en desgaste prematuro, sobrecalentamiento y colapso de los sellos del rodamiento.

Finalmente, en la parte superior del árbol se ubican las consecuencias directas: agarrotamiento de los descansos, rotura del rodamiento, interrupción del flujo de material y, como efecto mayor, la detención completa de la CR-1401. Este escenario no solo repercute en la continuidad operacional, sino que también incrementa los costos de mantenimiento y representa un riesgo para la seguridad de las personas.

La construcción del árbol de problemas permitió establecer una relación clara entre causas, problema y efectos. De esta manera, se cuenta con una herramienta visual y analítica que refuerza el diagnóstico y sustenta la necesidad de proponer un plan de mejora específico y adaptado a las condiciones de operación de la cinta.

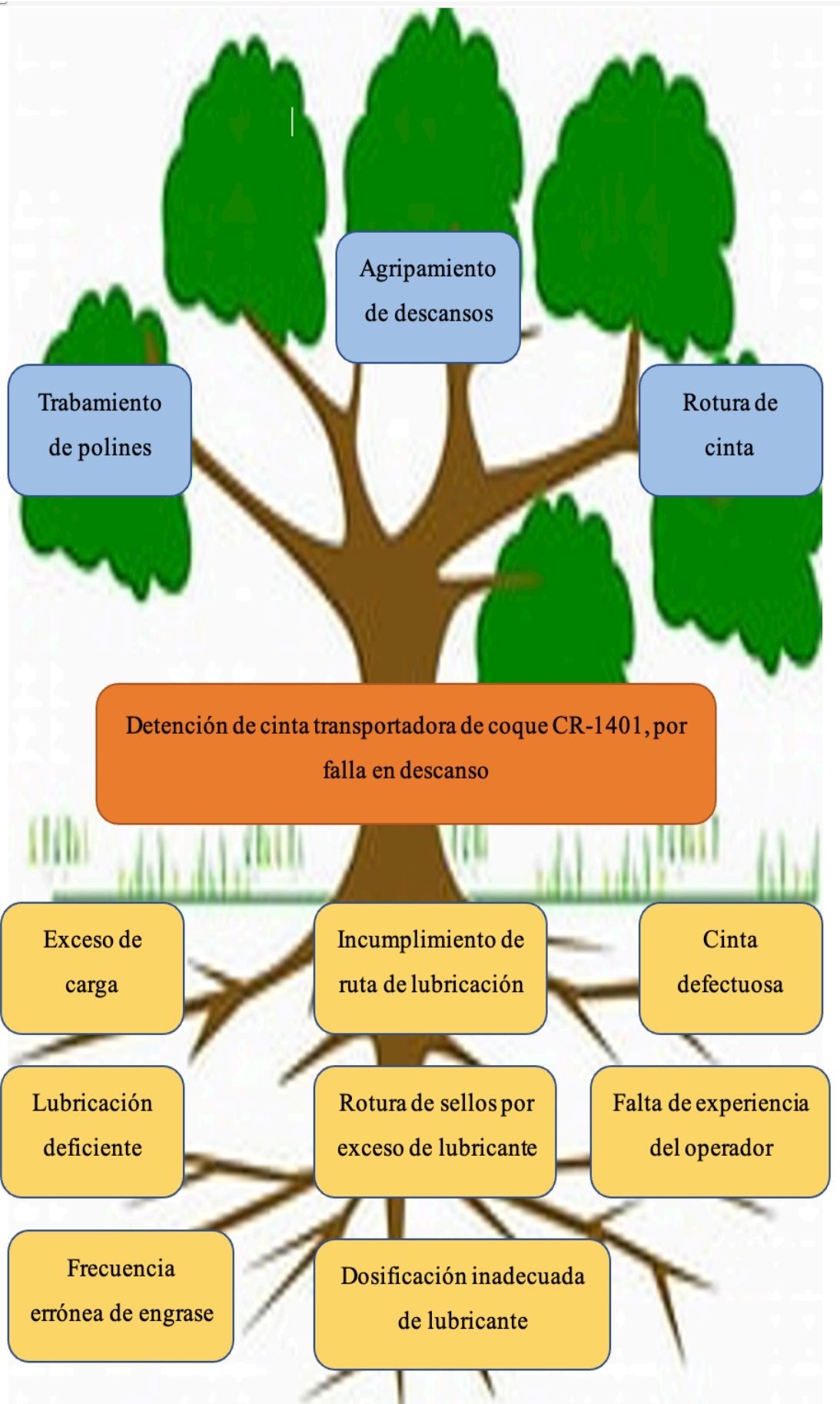


figura - 2-13: Árbol de problemas.

Fuente: Elaboración propia.

2.6.3 Análisis causa raíz

El análisis de causa raíz es una metodología que busca identificar no solo los síntomas visibles de una falla, sino también las razones subyacentes que la provocan. En el caso de la cinta transportadora CR-1401, este método fue fundamental para comprender en profundidad qué factores contribuyeron al colapso del rodamiento en el descanso del tambor de nivelación y cómo evitar que se repita en el futuro.

2.6.3.1 Modos de falla

Se identificaron distintos modos de fallas que pudieron intervenir de manera directa o combinada:

- **Condición mecánica del equipo:** Posible calce inadecuado de sello que produce fricción en el eje y fuga de lubricante. Mantener un adecuado plan de mantenimiento recomendado por el fabricante.
- **Tipo de lubricante:** Lubricación deficiente, puede presentar más fallas tales como:
 - **Excesiva aplicación de lubricante:** exceso de grasa en la cavidad del rodamiento que ocasiona, pérdida de potencia y aumento de temperatura que favorece la degradación química de la grasa, separando el aceite base del espesante.
 - **Lubricante inadecuado:** viscosidad inadecuada del aceite base respecto a la velocidad y dimensiones del rodamiento.
 - **Contaminación del lubricante:** posible fractura de jaula y desprendimiento de elementos rodantes, ocasionado por trabamiento de partículas.
 - **Sellado ineficaz:** sello deficiente, favoreciendo el ingreso de agentes contaminantes a la pista del rodamiento provocando desgaste.
 - **Frecuencia de lubricación:** frecuencia semanal, según plan de mantenimiento preventivo, precisar reajuste de frecuencia de lubricación.
 - **Método de aplicación de lubricante:** para la aplicación se utiliza engrasadora manual, pudiendo existir desviaciones en la cantidad y dosificación.

- **Incumplimiento de la ruta de lubricación establecida:** realizar revisión de registro de cumplimiento de las rutas de lubricación.

2.6.3.2 Análisis de causas

Al revisar los modos de falla se detectaron tanto causas humanas como causas físicas:

➤ **Tipos de causa humana:**

- Inspección insuficiente al realizar la tarea con equipo detenido y no verificar la condición de la lubricación con equipo en funcionamiento.
- Montaje inadecuado.
- Sistema de sellado ineficaz e incompatibilidad entre sellos que favorece la acción de fuga de lubricante e ingreso de contaminación.
- Aplicación excesiva de lubricante provoca colapso de sellos e ingreso de contaminación a las pistas del rodamiento.

➤ **Tipo de causa física:**

- Lubricación deficiente ocasionada por una obstrucción total o parcial que impide el normal flujo de grasa en los rodamientos.
- Inexistencia de puerto de alivio en el alojamiento, por exceso de grasa, es probable que ocasione el colapso en los sellos.
- Ingreso de contaminantes por agua y partículas de coque.

2.6.3.3 Análisis de falla

Por otra parte, con la información disponible en los modos de falla, asociados a una combinación de factores que intervienen, podemos encontrar:

- **Lubricación deficiente y método de lubricación:** excesiva aplicación de lubricante.
- **Lubricante inadecuado:** viscosidad inadecuada del aceite base de acuerdo con la velocidad y dimensiones del rodamiento.
- **Contaminación lubricante:** sellado ineficaz favorece el ingreso de contaminación de partículas y agua durante el transporte de material de la cinta.

- **Frecuencia de lubricación:** frecuencia inadecuada de acuerdo con la condición de operación y carga del descanso.
- **Inspección insuficiente:** inspección del componente se realiza con el equipo detenido.

2.6.4 Controles de potencial de falla

Con el fin de reducir la probabilidad de que se repitan fallas similares a la ocurrida en el descanso del tambor de nivelación de la CR-1401, se definieron controles orientados tanto a la prevención como a la detección temprana de desviaciones. Estos controles permiten abordar de manera integral los riesgos identificados en el análisis de causa raíz, actuando en distintos niveles del proceso de lubricación y mantenimiento.

2.6.4.1 Controles de prevención

Los controles de prevención se enfocan en evitar que la falla ocurra desde un principio, corrigiendo las debilidades que se observaron en la práctica actual:

- Evaluar posibilidad de realizar ruta de inspección y toma de temperatura de los descansos con equipo en funcionamiento, con previa autorización de ingreso del jefe de área.
- Evaluar y verificar si lubricante en uso es adecuado para la condición de operación de los descansos de la cinta transportadora CR-1401.
- Evaluar frecuencia de lubricación de los descansos.
- Considerar disponer de drenajes en alojamientos del descanso, para asegurar la expulsión de grasa al relubricar y así evitar que los sellos colapsen.

2.6.4.2 Controles de detección

Además de la prevención, es fundamental contar con mecanismos que permitan identificar oportunamente cualquier desviación antes de que evolucione hacia una falla mayor:

- Inspección de ruta semanales.
- Control de temperatura semanal.
- Verificar trasvasije de grasa a través de circuito cerrado desde taller.

2.7 CONCLUSIÓN DE LOS ANÁLISIS

El estudio realizado mediante distintas metodologías de análisis —diagrama de Ishikawa, árbol de problemas, análisis de causa raíz y controles de potencial de falla— permitió obtener una visión integral respecto a la falla presentada en el descanso del tambor de nivelación de la cinta transportadora CR-1401.

En primer lugar, el diagrama de Ishikawa evidenció que la falla no puede atribuirse a un único factor aislado, sino que responde a la interacción de causas relacionadas con los métodos de trabajo, las condiciones de la maquinaria, la calidad de los materiales utilizados y la capacitación del personal. Esta perspectiva integral permitió reconocer que el problema surge de un sistema de mantenimiento que requiere ajustes en varios niveles.

El árbol de problemas reforzó este diagnóstico al mostrar cómo las causas básicas (dosificación inadecuada, frecuencia errónea de engrase, incumplimiento de ruta y sellado deficiente) se traducen en una lubricación ineficiente, la cual desemboca finalmente en el colapso del rodamiento y la detención completa de la cinta. Esta representación permitió visualizar con claridad la relación directa entre errores operativos y consecuencias productivas, económicas y de seguridad.

Por su parte, el análisis de causa raíz profundizó en los modos de falla, confirmando que existieron desviaciones tanto humanas como físicas. La aplicación excesiva de grasa, la falta de un puerto de alivio en los descansos, la contaminación del lubricante y la inspección insuficiente con el equipo detenido fueron algunos de los elementos críticos identificados. Estos hallazgos evidencian que la falla fue el resultado de una combinación de malas prácticas y condiciones técnicas no controladas.

Finalmente, los controles de potencial de falla permitieron definir medidas concretas para prevenir y detectar anomalías en etapas tempranas. La implementación de inspecciones en operación, el ajuste de la frecuencia de lubricación, la verificación del lubricante adecuado y la incorporación de sistemas de drenaje se presentan como acciones prioritarias. Asimismo, el monitoreo de temperatura y el control de calidad del lubricante refuerzan la necesidad de establecer un sistema de mantenimiento más riguroso y confiable.

En síntesis, los análisis realizados confirman que la falla en el descanso de la CR-1401 no fue un evento aislado, sino la manifestación de deficiencias en la gestión de lubricación y mantenimiento. Estos resultados constituyen la base para la propuesta de mejora que se presenta en el siguiente apartado, orientada a optimizar los procedimientos y asegurar la continuidad operacional de la cinta transportadora.

CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE MEJORA

3.1 PROPUESTA DE MEJORA AL PROBLEMA DETECTADO

3.1.1 Punto relevante

Debido a la falla ocurrida en el rodamiento del descanso de tambor de nivelación de la cinta CR-1401 en planta de Coker, y como parte del plan de acción generado a partir del análisis de falla realizado para el componente en estudio, surge la necesidad de verificar la aplicación del lubricante, y si es el correcto, para la condición de operación del equipo, cálculo de la dosificación y frecuencia de relubricación requerida.

Para lubricar los descansos de los tambores de nivelación, tambor conducido y tambor motriz, actualmente es utilizada la grasa Mobilgrease XHP 222, espesante de complejo de litio, grado NLGI 2.

Con respecto a la información técnica de la cinta transportadora se dispone de las siguientes características:

- Material a transportar: Coque verde
- Capacidad máxima de transporte: 125 Tn/hora
- Velocidad de transporte de la cinta: 1,65 m/s.
- Diámetro tambor de nivelación: 240 mm.

Para determinar la velocidad de giro a la condición de operación de la cinta, se tiene:

$$w = \frac{v}{r} = \frac{1,65 \text{ m/s}}{0,12 \text{ m}} = 13,75 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times \frac{60}{2\pi} = 131,3 \text{ rpm}$$

En análisis de falla realizado se observa separación del espesante y aceite base por efecto del sobre engrase y contaminación ingresada por partículas de coque producto del mismo proceso de transporte de material de coque. En este proyecto, se verificará la selección de lubricante adecuado para la condición de operación.



figura - 3-1: Rotura de rodamiento por partículas de coque.
Fuente: Elaboración propia.



figura - 3-2: Pérdida de propiedades de la grasa por alta temperatura.
Fuente: Elaboración propia.

3.2 MEMORIA DE CÁLCULO DE LUBRICANTE

3.2.1 Condiciones de operación

Tabla 1 : Especificaciones del descanso en falla.

Equipo	Cinta transportadora CR-1401
Componente de equipo	Descanso tambor de nivelación cinta transportadora
Tipo de rodamiento	N° de parte: 22211 EK (Rodamiento rodillo a rótula)
Diámetro interior (d)	55 mm.
Diámetro exterior (D)	100 mm.
Ancho de rodamiento (B)	25 mm.
Velocidad de giro (rpm)	131 rpm
Temperatura de operación	50 °C
Cantidad de grasa	20 gr
Viscosidad de aceite base	220 cSt.
Frecuencia de lubricación	30 días

Fuente: Manual de operaciones, división Coker, ENAP.

3.2.2 Antecedentes técnicos

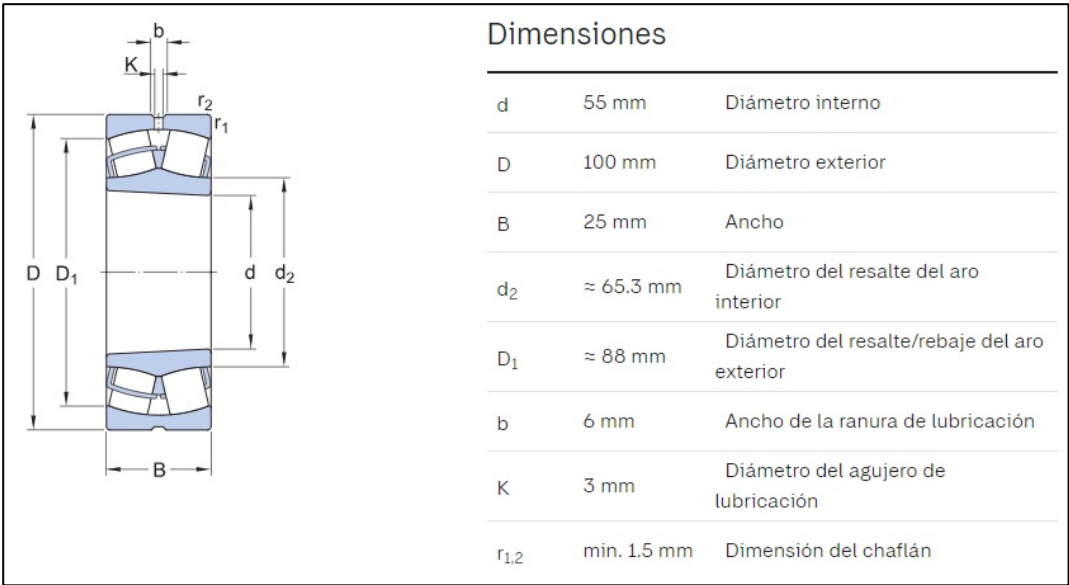


figura - 3-3: Especificación técnica de rodamiento 22211 EK.

Fuente: Catálogo general SKF.

3.2.3 Cálculo de volumen de grasa requerida

Para determinar la cantidad de grasa necesaria para una aplicación estándar, se determina de la siguiente manera:

Cantidad de grasa (gr) = 0,005 x D X B

Donde:

- D: Diámetro exterior del rodamiento.
- B: Ancho del rodamiento.

Luego, la cantidad de grasa de rodamiento necesaria para la aplicación debe ser:

Cantidad de grasa (gr) = 0,005 x 100 X 25 = 12,5 gr.

3.2.4 Cálculo de viscosidad adecuada de lubricante base (método factor de velocidad)

Tabla 2 : Especificaciones rodamiento 22211 EK.

Descripción	Unidad de medida
Diámetro interior (d)	55 mm.
Diámetro exterior (D)	100 mm.
Diámetro medio (Dm)	78 mm.
Velocidad de giro (N)	131,3 rpm
Dm x N	10.176

Fuente: Catálogo general SKF.

3.2.5 Cálculo de viscosidad adecuada de lubricante base (método gráfico)

Para establecer la viscosidad adecuada, es importante considerar la formación de película lubricante a partir de las condiciones de operación del rodamiento, temperatura de operación, velocidad de giro y dimensiones del rodamiento. Para ello, se debe considerar el cálculo de la viscosidad relativa o factor Kappa, definido por la razón entre la viscosidad del lubricante a la temperatura de operación (ν) y la viscosidad mínima requerida del lubricante (ν_1). La relación está definida de la siguiente forma:

$$K = \frac{\nu}{\nu_1}$$

Donde:

- K : Factor Kappa
- ν : viscosidad cinemática real del lubricante a la temperatura de operación en mm^2/s .
- ν_1 : viscosidad cinemática mínima del lubricante requerida por el rodamiento para lograr separación de las superficies en mm^2/s .
- $K < 1$: lubricación extrema, régimen donde existirá contacto metal-metal.
- $1 < K < 4$: lubricación mixta, fricción reducida.
- $K = 4$: lubricación de película completa, carga de contacto de rodadura soportada por la película lubricante.

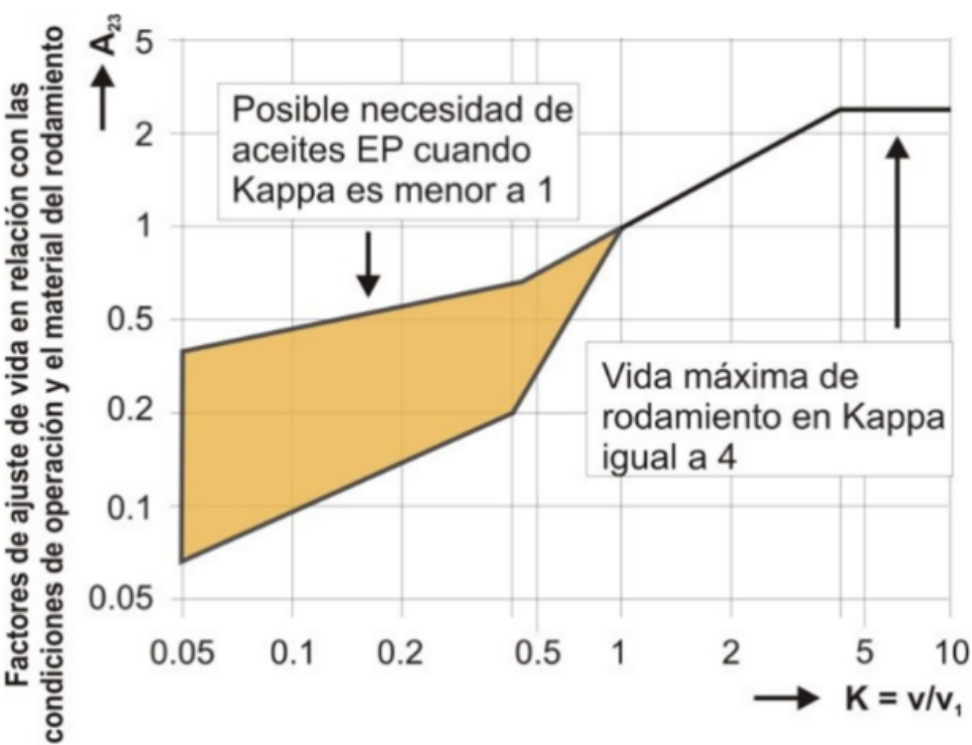


figura - 3-4: Relación entre factor Kappa y la vida del rodamiento.

Fuente: Catálogo general SKF.

Considerando la información proporcionada por el fabricante.

Tabla 3 : Especificaciones rodamiento 22211 EK.

Descripción	Unidad de medida
Diámetro interior (d)	55 mm.
Diámetro exterior (D)	100 mm.
Diámetro medio (Dm)	78 mm.
Velocidad de giro (N)	131,3 rpm

Fuente: Catálogo general SKF.

Y, utilizando el método gráfico de SKF y considerando lubricación de película mixta $K = 2.5$, se obtiene que:

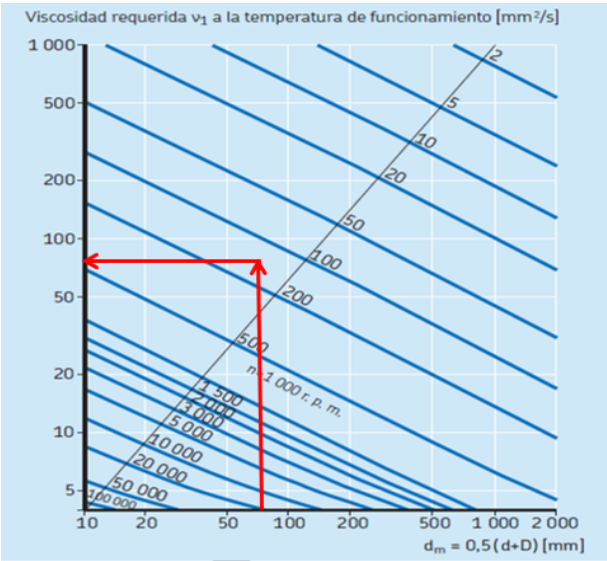


figura - 3-5: Viscosidad mínima requerida $v_1 = 75 \text{ mm}^2/\text{s}$.

Fuente: Catálogo general SKF.

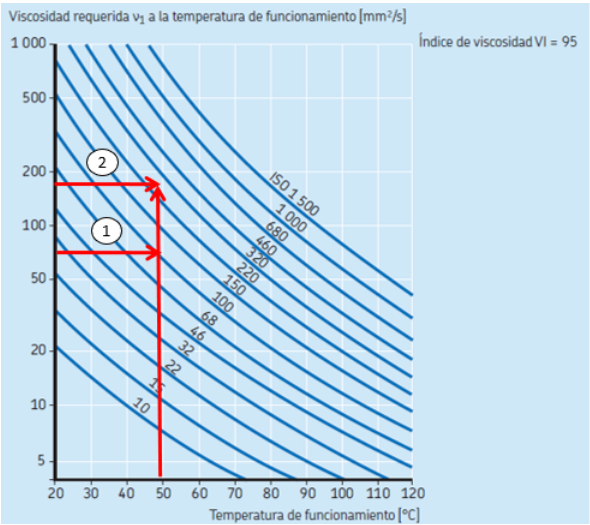


figura - 3-6: Viscosidad real a la temperatura de operación $v = 188 \text{ mm}^2/\text{s}$.

Fuente: Catálogo general SKF.

La viscosidad mínima para lubricar el rodamiento a lo menos debe ser de $75\text{ mm}^2/\text{s}$, equivalente a un grado ISO VG 100 como se indica con el número 1 en la figura 7, donde podría existir contacto metal-metal. Un valor aceptable para conseguir una lubricación mixta considera óptimo un factor Kappa en el rango $1 < K < 2.5$, y para tal condición la viscosidad real a la temperatura de funcionamiento debe ser $188\text{ mm}^2/\text{s}$, correspondiente a un lubricante **ISO VG 220**, como se indica con el número 2 en la figura.

En la siguiente figura, es posible visualizar para distintos valores de viscosidad real a la temperatura de funcionamiento ($50\text{ }^{\circ}\text{C}$), los distintos valores de factor kappa (K) para la viscosidad requerida por el rodamiento del descanso de la cinta transportadora CR-1401.

GRADO ISO	Viscosidad a 50°C cSt	Relacion de viscosidades (K)
ISO VG 10	7,5	0,10
ISO VG 15	10	0,13
ISO VG 22	18	0,24
ISO VG 32	25	0,33
ISO VG 46	35	0,47
ISO VG 68	45	0,60
ISO VG 100	75	1,00
ISO VG 150	90	1,20
ISO VG 220	190	2,53
ISO VG 320	220	2,93
ISO VG 460	300	4,00

figura - 3-7: Cálculo de factores Kappa a la temperatura de operación.

Fuente: Curso Grasas Lubricantes, COPEC.

Mencionar que a valores de kappa menores que 1, la lubricación será extrema y la operación será en un régimen donde existirá contacto metal-metal favoreciendo el desgaste y provocando el deterioro del rodamiento. Para valores de Kappa cercanos a 1, ya existe un incremento en la tasa de vida esperada para el rodamiento cercana a 1. Para valores de Kappa mayores a 4, puede ocasionar aumento en la viscosidad favoreciendo el deslizamiento y el efecto de fricción fluida que provoca mayor consumo de energía.

3.2.6 Frecuencia de re-engrase, según Norma DIN 51825

Una vez que se ha calculado el volumen de grasa, es necesario determinar la frecuencia con que se debe aplicar, este cálculo está relacionado directamente con las condiciones de operación y datos técnicos del rodamiento. Para este caso en particular, los factores de operación conocidos son: tipo de rodamiento, temperatura de operación, posición del rodamiento.

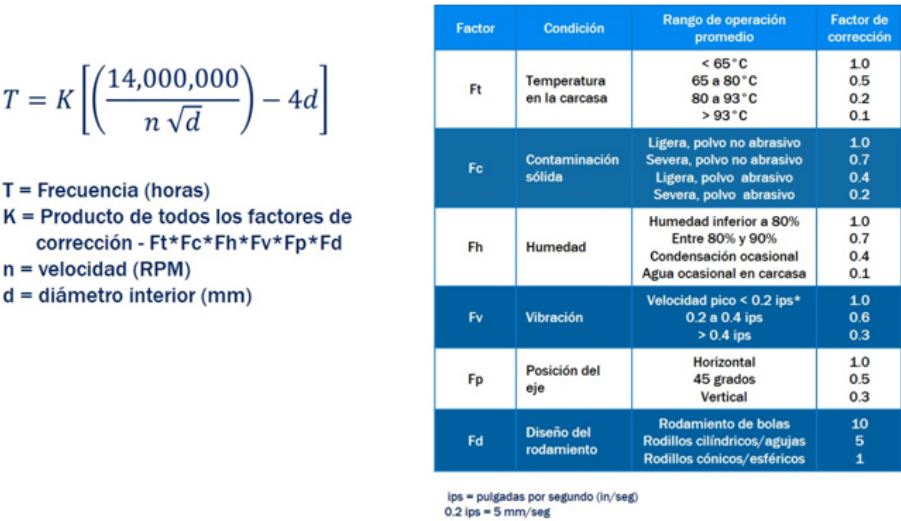


figura - 3-8: Obtención de frecuencia de engrase en horas.

Fuente: Norma DIN 51825.

Factor de corrección $K = F_t \times F_c \times F_h \times F_v \times F_p \times F_d = 1 \times 0,2 \times 0,4 \times 1 \times 1 \times 1 = 0,08$

3.2.7 Cuadro de resumen

Cálculo de la frecuencia de relubricación de rodamientos según Norma DIN 51825													
Planta	Equipo	Componente	Rodamiento	n (rpm)	D	d	B	Cantidad relubricación (gramos)	Factor de corrección (K)	$\sqrt{d}$	Frecuencia (Horas) $T=K\left(\left(\frac{14.000.000}{n\sqrt{d}}\right)-4d\right)$	Frecuencia (Días)	Dosificación diaria requerida (g/día)
Cogeneración	Cinta larga Coker	Descanso rodillo nivelación CR-1401	SKF 22211 EK Rodamiento de rodillo a rótula	131,3	100	55	25	12,5	0,08	7,42	1133	47	0,26

figura - 3-9: Cálculo de la frecuencia de re-engrase.

Fuente: Norma DIN 51825.

De acuerdo con, la metodología aplicada, la frecuencia de re-engrase debe ser cada 1133 horas, es decir, 47 días.

3.3 RESULTADOS DE LUBRICANTE Y SU FRECUENCIA

Los resultados obtenidos del estudio realizado evidenciaron que, la grasa utilizada para lubricar los descansos es la correcta para la aplicación, grasa multipropósito Mobilgrease XHP 222, grado NGLI 2. En cuanto a la frecuencia de lubricación, es necesario realizar un ajuste en la frecuencia de re-engrase y dosificación, ya que actualmente, se re-engrasa cada 07 días con 20 gramos de grasa, cuando la cantidad requerida es de 12,5 gramos cada 47 días. Pero, debido a que el componente está sometido a condiciones hostiles como alta polución en suspensión, es que se recomienda aumentar los gramos de grasa lubricante acorde al ambiente de trabajo, para que de esta forma, se eliminen los agentes contaminantes a través de la purga del componente. Es por eso que, se debe aumentar la dosificación obtenida en el cálculo de la frecuencia de relubricación.

En base a los resultados obtenidos, se propone implementar dispensadores automáticos a gas (gas inerte “Argón”) para suministrar de manera correcta una pequeña cantidad de grasa regularmente al punto de lubricación, con el fin de mejorar el rendimiento del rodamiento y pudiéndose ajustar la dosificación, para así, tener un control de la cantidad de lubricante suministrado en comparación con la lubricación de engrasadora manual.

3.4.2 Dosificación y duración del vaso lubricador

De acuerdo con, la cantidad de grasa para el re-engrase, y la condición de operación de los descansos de la cinta, el vaso lubricador tendrá una duración de 9 meses con una dosificación de 0,37 g/día.

Selección de rodamientos

Buscar designación del rodamiento

Q 22211 EK

X

Selección de rodamientos

Rodamiento de rodillos a rótula

Relación de carga

Fa/Fr < e y dm <=800 mm

Para obtener más información, visite la opción "Calculations" (Cálculos) en el menú.

Serie

Serie 213, 222, 238, 239

Reposición

Desde el lado

Situación normal.

Diámetro interior (mm)

55

Diámetro exterior (mm)

100

Ancho del rodamiento (mm)

25



Resultados operativos

Cambie los parámetros para ver las actualizaciones en tiempo real aquí

INTERVALO CORREGIDO

800 h

CANTIDAD DE GRASA

12.50 g

CAUDAL

0.37 g/día

9 meses



En caso de ingreso de contaminantes, una relubricación más frecuente que la indicada por el intervalo de relubricación reducirá los efectos negativos de las partículas extrañas en la grasa y, al mismo tiempo, los efectos perjudiciales causados por el sobreenrollamiento de las partículas. Los contaminantes fluidos (agua, fluidos de proceso) también requieren un intervalo reducido. Si la contaminación es alta, se debe considerar una relubricación continua.

No se ha especificado ninguna grasa para este cálculo; por lo tanto, DialSet no aplicará ningún factor de corrección ni verificará las condiciones de funcionamiento. Asegúrese de que la grasa aplicada sea apropiada para esta aplicación en particular y comuníquese con

Imprimir

Guardar dispositivo

figura - 3-11: Cálculo dosificación de vaso lubricador.

Fuente: Catálogo general SKF/Ficha técnica dispensador a gas, COPEC.

53

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

4.1 COSTO-BENEFICIO DE UTILIZAR DISPENSADOR AUTOMÁTICO A GAS

La propuesta de implementar un sistema de lubricación automática mediante dispensadores programables en el descanso “A1” de la cinta transportadora CR-1401 requiere una evaluación económica que permita determinar su viabilidad. Para ello, se consideran tanto los costos de inversión inicial como los beneficios operacionales y financieros esperados.

Además de los costos directos analizados, es relevante considerar los costos ocultos e intangibles que pueden derivarse de una estrategia de lubricación ineficiente. Entre ellos se encuentran las pérdidas asociadas a la interrupción de la cadena productiva, el incumplimiento de compromisos contractuales con clientes, las horas improductivas de personal que no puede operar equipos detenidos y los gastos logísticos derivados del arriendo de maquinaria externa para suplir temporalmente la falta de disponibilidad de la CR-1401. Estos elementos, si bien no se reflejan en las tablas de costos, constituyen un factor crítico en la gestión integral del mantenimiento y suelen ser los más relevantes en términos de impacto financiero a mediano y largo plazo.

Por otra parte, la evaluación de escenarios permite visualizar con mayor claridad los beneficios de la propuesta. En un escenario pesimista, donde no se implementa la mejora, la empresa queda expuesta a la recurrencia de fallas imprevistas en los descansos, con una probabilidad alta de incurrir en costos por reparación correctiva y pérdidas por lucro cesante. En cambio, en un escenario optimista, si el sistema de lubricación automática se amplía progresivamente a otras cintas transportadoras críticas, el ahorro potencial se multiplica, mejorando la disponibilidad global de la planta y permitiendo que los recursos destinados a mantenimiento se reorienten hacia actividades de mayor valor agregado.

4.1.1 Costo actual de lubricar cinta transportadora CR-1401

En la actualidad, la lubricación de la cinta transportadora CR-1401 se realiza de manera manual, a través de rutas programadas de mantenimiento. Este procedimiento considera la aplicación periódica de grasa en los descansos del tambor de nivelación, incluido el descanso “A1”, que fue el componente en el cual se presentó la falla analizada en capítulos anteriores.

El costo de esta actividad se compone principalmente de tres factores:

1. **Horas-hombre de mantenimiento:** corresponde al tiempo utilizado por el personal técnico de supervisión en el desplazamiento, preparación, aplicación de la grasa y registro de la actividad.
2. **Consumo de lubricante:** incluye la cantidad de grasa utilizada en cada jornada de mantenimiento, multiplicada por la frecuencia mensual definida en el plan de lubricación.
3. **Interrupciones operacionales menores:** aunque no siempre se requiere detener la cinta, se generan pausas o ajustes durante la intervención, lo que impacta en la continuidad operacional.

A continuación, se realizará un detalle de los costos asociados actualmente a la actividad de lubricación, considerando 2 horas de trabajo, semanal, por colaborador y, en donde, esta actividad se debe realizar todas las semanas. Además, tener en cuenta que, existen 10 unidades de descansos a lubricar. Se considerará, como tiempo en comparación, 9 meses, ya que, es el tiempo en el que se debe realizar reposición del dispensador automático a gas.

Tabla 4 : Costos asociados a lubricación.

	Costo Hora Supervisor	Costo Hora Técnico	Tineta de grasa (16 kilos) Mobilgrease XHP 222	Costo de 200 gramos de Mobilgrease XHP 222
Costo en pesos chilenos	5.773.-	4.907.-	150.000.-	1.875.-
Costo en dólares	6,04	5,14	170,70	2,13

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 4 presenta el desglose de los costos involucrados en la actividad de lubricación manual. En ella se incluyen valores de la hora del supervisor y técnico, además del costo del lubricante utilizado (*Mobilgrease XHP 222*), tanto en su formato de tineta de 16 kilos como en dosificación de 200 gramos. Estos valores permiten establecer el costo unitario por cada aplicación y constituyen la base para estimar el gasto total en función de la frecuencia de mantenimiento.

Tabla 5 : Costos por actividad de lubricación.

	Costo de realizar lubricación semanal a 10 descansos	Costo de realizar lubricación mensual a 10 descansos	Costo de realizar lubricación cada 9 meses a 10 descansos
Costo en pesos chilenos	23.235.-	92.940.-	836.460.-
Costo en dólares	24,63	98,52	886,65

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 5 muestra cómo varía el costo, considerando personal y lubricante, en función de la periodicidad de la lubricación. Así, el costo de realizar la lubricación semanal a los 10 descansos se estima en \$23.235.- pesos chilenos por intervención (\$24,63 dólares). Si la actividad se proyecta con una frecuencia mensual, el gasto asciende a \$92.940.- pesos (\$98,52 dólares), y cuando se considera en un periodo de 9 meses, el costo acumulado alcanza los \$836.460.- pesos (\$886,65 dólares).

Estos cálculos reflejan que la lubricación manual genera un gasto constante y recurrente, que puede considerarse relativamente bajo en el corto plazo, pero que en el mediano y largo plazo representa una suma considerable. A ello se suman los costos indirectos asociados a fallas no programadas, reemplazo de componentes dañados y horas-hombre en mantenimiento correctivo, los cuales no siempre se registran en las tablas, pero sí impactan de manera significativa en el presupuesto general de mantenimiento.

En conclusión, el costo actual de lubricar manualmente la cinta CR-1401 representa una carga permanente para la empresa. Aunque este gasto es asumido como parte de la rutina de mantenimiento, su magnitud se incrementa cuando se presentan fallas en los rodamientos que obligan a intervenciones correctivas no planificadas. Este escenario justifica la necesidad de evaluar alternativas de mejora que permitan optimizar recursos, reducir la frecuencia de intervenciones manuales y garantizar mayor confiabilidad en el sistema de lubricación.

4.1.2 Costo al implementar dispensador en cinta transportadora cr-1401

A continuación, se presenta el detalle de los costos asociados a la implementación de la propuesta de mejora, que consiste en la instalación de vasos lubricadores automáticos en los descansos de la CR-1401. Para este cálculo se consideran 2 horas de trabajo por colaborador en la instalación de las 10 unidades de dispensador automático a gas y 1 hora cada dos semanas, por colaborador, destinada a la inspección visual de las mismas. Como periodo de comparación se mantienen los 9 meses, ya que corresponde al tiempo en que se debe realizar la reposición del cartucho de grasa de cada dispensador.

Tabla 6 : Costos asociados a la propuesta de mejora.

	Costo Hora Supervisor	Costo Hora Técnico	Costo 10 unidades de vaso lubricador
Costo en pesos chilenos	5.773.-	4.907.-	350.000.-
Costo en dólares	6,09	5,18	369,52

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 6 presenta los costos unitarios asociados a la implementación de la mejora. Se incluyen los valores de la hora de trabajo del supervisor y del técnico, junto con la inversión inicial en la compra de los 10 dispensadores automáticos a gas. El costo de adquisición de los equipos asciende a \$350.000 pesos chilenos (\$369,52dólares), lo que representa la inversión inicial más relevante del proyecto.

Tabla 7 : Costos al implementar mejora.

	Costo de instalación y/o reposición de 10 unidades de vaso lubricador	Costo de realizar inspección visual a 10 unidades de vaso lubricador mensual	Costo de realizar lubricación cada 9 meses a 10 descansos
Costo en pesos chilenos	371.360.-	21.360.-	563.600.-
Costo en dólares	392,07	22,55	595,03

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 7 detalla los costos resultantes de la aplicación de la propuesta. La instalación y/o reposición de los 10 vasos lubricadores tiene un costo estimado de \$371.360.- pesos (\$392,07 dólares). A esto se suma el costo de la inspección visual mensual de las unidades, calculado en \$21.360.- pesos (\$22,55 dólares), y finalmente el costo de realizar el plan de lubricación cada 9 meses, asciende a \$563.600.- pesos (\$595,03 dólares).

Estos valores reflejan que, aunque la inversión inicial es mayor respecto a la lubricación manual, el gasto se concentra principalmente en la compra e instalación de los dispositivos, mientras que el costo de mantención posterior es considerablemente menor. Además, la periodicidad más prolongada entre intervenciones reduce la frecuencia de asignación de personal, lo que se traduce en un ahorro indirecto en horas-hombre y en la exposición de trabajadores a zonas de riesgo.

En conclusión, la implementación de dispensadores automáticos en la CR-1401 genera un costo inicial significativo, pero a mediano plazo ofrece un esquema de mantenimiento más eficiente y sostenible. La reducción de intervenciones manuales, sumada a la mayor confiabilidad en la lubricación, justifica plenamente la inversión y marca una diferencia respecto al costo recurrente de la lubricación tradicional.

4.2 **CALENDARIO DE RELUBRICACIÓN**

Con los datos obtenidos a partir de las distintas metodologías de análisis aplicadas, se confirma que el uso de dispensadores automáticos a gas ofrece mejores condiciones para enfrentar el ambiente de operación de la CR-1401 y garantiza una metodología de relubricación más adecuada. Además, su instalación implica un ahorro económico significativo en comparación con el sistema manual, lo que refuerza la viabilidad de la propuesta.

En función de lo anterior, se plantea la elaboración de un nuevo calendario de ruta de lubricación para la cinta transportadora de coque CR-1401, que reemplaza el esquema actual basado en intervenciones semanales.

Actualmente, la frecuencia de relubricación es la siguiente:

Tabla 8 : Calendario relubricación actual.

TAG	Equipo	Componente	Lubricante	Actividad	Frecuencia
CR-1401	Cinta transportadora	Descansos	Grasa Mobilgrease XHP 222	Relubricación	7 días

Fuente: Elaboración propia.

Este calendario refleja que cada siete días se debe realizar una intervención de engrase manual, lo que implica un alto consumo de recursos humanos y materiales, además de una mayor exposición de los colaboradores a zonas de riesgo.

Con la instalación del dispensador automático a gas, el calendario de actividades se modificaría de la siguiente manera:

Tabla 9 : Calendario propuesta mejora.

TAG	Equipo	Componente	Lubricante	Actividad	Frecuencia
CR-1401	Cinta transportadora	Descansos	Grasa Mobilgrease XHP 222	Inspección visual	14 días
CR-1401	Cinta transportadora	Descansos	Grasa Mobilgrease XHP 222	Cambio de dispensador	270 días

Fuente: Elaboración propia.

4.3 RESULTADOS DE LA PROPUESTA

La propuesta de mejora reduce de manera significativa la frecuencia de intervención: de un engrase semanal se pasa a una inspección visual cada dos semanas, y el cambio de dispensador automático a gas se programa cada nueve meses. Esto permite mantener un control adecuado del estado de los descansos, garantizando una lubricación continua y precisa sin necesidad de realizar aplicaciones manuales frecuentes.

En conclusión, el nuevo calendario de relubricación ofrece una planificación más eficiente, con menos interrupciones, menor exposición del personal y una clara optimización de los recursos. Este cambio se traduce en mayor confiabilidad para la CR-1401 y en un ahorro tangible en costos operativos.

El rediseño del calendario de relubricación no solo implica un ahorro económico, sino que también representa un avance significativo en la seguridad y confiabilidad operativa. Al disminuir la frecuencia de intervenciones manuales, se reduce la exposición de los técnicos a zonas con riesgo de atrapamiento, caídas o contacto con superficies en movimiento. Este aspecto es coherente con lo establecido en normativas internacionales de seguridad laboral como OSHA (2020), que recomiendan minimizar la intervención directa en equipos rotativos.

Desde una perspectiva de gestión de mantenimiento, la implementación del dispensador automático a gas permite alinear las actividades con estándares como la ISO 55000 de gestión de activos y la filosofía del TPM (Total Productive Maintenance), donde la disponibilidad, el rendimiento y la calidad son factores claves para medir la eficiencia global de los equipos (OEE). Asimismo, la mejora influye directamente en indicadores como el MTBF (tiempo medio entre fallas) y el MTTR (tiempo medio de reparación), ya que al extender la vida útil de los rodamientos se incrementa el tiempo entre detenciones, y al reducir fallas imprevistas, se minimiza el tiempo invertido en reparaciones correctivas.

4.4 **BALANCE COSTO-BENEFICIO**

El análisis comparativo entre el sistema de lubricación manual y la propuesta de mejora con dispensadores automáticos a gas permite visualizar con claridad las diferencias en términos económicos, operativos y de seguridad.

En el plano económico, los cálculos realizados demuestran que en un periodo de 9 meses:

- **Costo por 9 meses de lubricación actual: \$836.460.- pesos.**
- **Costo por 9 meses de lubricación con propuesta de mejora: \$563.600.- pesos.**

La diferencia equivale a un ahorro directo del 32,6% únicamente considerando la actividad de lubricación de los 10 descansos de la cinta transportadora CR-1401.

En síntesis, el balance refleja que los beneficios de la propuesta de mejora superan ampliamente los costos iniciales, justificando su implementación no solo desde el punto de vista financiero, sino también desde la perspectiva de eficiencia y confiabilidad del equipo.

4.4.1 **Beneficio de implementar dispensador automático**

La instalación de dispensadores automáticos ofrece beneficios adicionales que van más allá del aspecto económico. Aumenta la confiabilidad de la máquina, optimiza las operaciones de mantenimiento al reducir la frecuencia de intervenciones manuales y mejora la seguridad del personal al minimizar su exposición a zonas de riesgo.

Un aspecto relevante es la homologación ATEX para zona 0 con que cuentan estos equipos, lo que permite su uso seguro en entornos de refinería con riesgo de explosión, cumpliendo con los estándares de seguridad industrial.

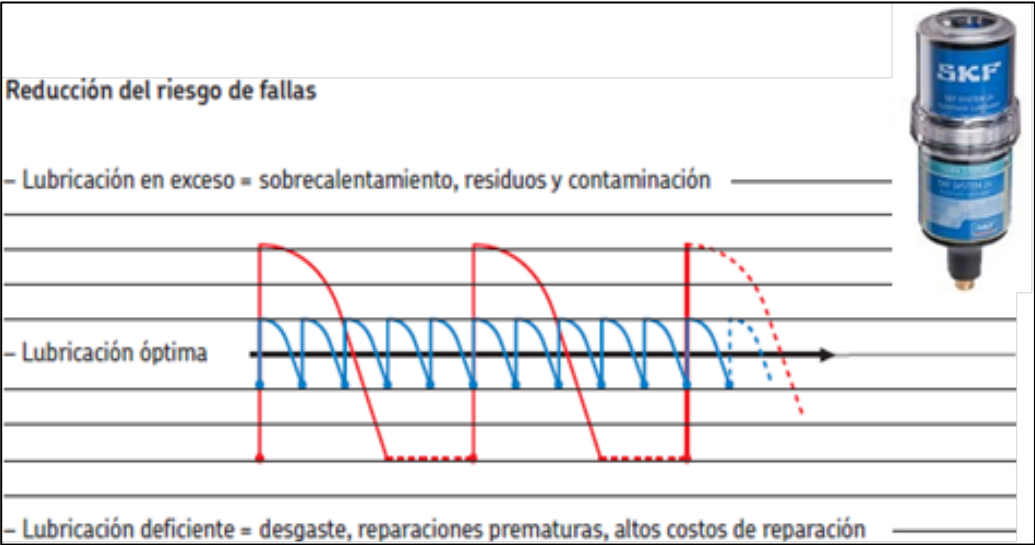


figura - 4-1: Reducción de riesgo de fallas por lubricación automática.
Fuente: Ficha técnica dispensador a gas, COPEC.

La comparación entre lubricación manual y automática también evidencia mejoras notables: mientras que en la primera, el lubricante está más expuesto a degradación y el rodamiento a la escasez, la segunda, permite aplicar dosis pequeñas y frecuentes, renovando las propiedades del lubricante y reduciendo la probabilidad de fallas.

Tabla 10 : Beneficios lubricación automática.

Optimización de:	Reducción de:
Disponibilidad de las maquinarias	Exceso o déficit de lubricación
Cantidades y frecuencias de engrase controladas	Consumo de lubricante
Precisión del servicio	Riesgos de contaminación cruzada
Seguridad de la operación	Agentes contaminantes externos
Horas en tareas de lubricación	Frecuencia de intervención del equipo

Fuente: Elaboración propia.

En conclusión, la instalación de dispensadores automáticos en la CR-1401 no solo representa un ahorro económico considerable, sino que también asegura mayor confiabilidad, eficiencia y seguridad en la operación. Esta propuesta se consolida como una solución integral que responde tanto a las necesidades de optimización de recursos como al cumplimiento de altos estándares de seguridad industrial.

Si bien los beneficios económicos son evidentes, los impactos de la propuesta trascienden el corto plazo. En un horizonte de varios años, la instalación de sistemas de lubricación automática contribuye a extender la vida útil de los rodamientos y disminuir

la rotación de repuestos en bodega, lo que se traduce en una optimización del inventario de mantenimiento. A esto se suma el aspecto ambiental, ya que el consumo de grasa se ajusta a la dosis estrictamente necesaria, reduciendo la generación de residuos y aportando a la sustentabilidad del proceso productivo.

En términos de gestión, la mejora también abre la puerta a la incorporación de tecnologías complementarias. Una recomendación futura es la integración de sensores de vibración y temperatura en los descansos, lo que permitiría pasar de un mantenimiento preventivo a uno predictivo, con alertas tempranas sobre posibles desviaciones en la condición de los componentes. Este tipo de innovaciones se enmarca en la tendencia de la Industria 4.0, donde la digitalización y el monitoreo en línea son herramientas clave para optimizar la confiabilidad.

Asimismo, cabe destacar que la lubricación automática no es una práctica aislada. Diversas industrias, como la minera y la celulosa, ya han reportado mejoras sustanciales en continuidad operacional y seguridad tras su implementación. Estas experiencias refuerzan la validez de la propuesta presentada, al demostrar que la modernización de los sistemas de lubricación no solo es viable, sino que constituye un requisito para competir en entornos industriales cada vez más exigentes.

4.4.2 Beneficio de la operación continua

Finalmente, y explicado de forma cualitativa, también se suman otros beneficios al mantener en funcionamiento continuo la cinta transportadora CR-1401. Por lo que representa un objetivo fundamental dentro de nuestra operación, ya que su detención no programada implica una serie de consecuencias técnicas y económicas significativas. Una falla repentina de la cinta obliga a recurrir a transportar de forma terrestre el producto, lo que implica subcontratar dos cargadores frontales y al menos cuatro camiones tolva, además de personal calificado para operar dichas maquinarias. La planificación operativa se ve afectada, generando retrasos en la cadena de producción y mayor desgaste de recursos. Además, este cambio temporal de recorrido puede generar riesgos operacionales por el tránsito constante de maquinaria pesada dentro de la planta aumentando la posibilidad de incidentes.

Por otro lado, mientras la cinta CR-1401 permanezca detenida, se interrumpe el transporte continuo de las 100 ton/hr de coque hacia la hoguera, lo que genera una

disminución importante en la producción de vapor que compromete el normal funcionamiento de las turbinas y provocar la detención del Turbogenerador que suministra energía eléctrica a toda la planta de ENAP REFINERÍAS obligando a recurrir al suministro de energía eléctrica externa para mantener las operaciones básicas de la planta. Lo cual no solo evidencia la importancia de garantizar la operatividad constante del sistema de transporte de coque, ya que su interrupción puede crear una cadena de eventos que afectan gravemente la eficiencia y sustentabilidad de la planta.

CONCLUSIÓN

El desarrollo de este proyecto permitió dar cumplimiento a los objetivos planteados, analizando el funcionamiento y las condiciones operativas del sistema de transporte por cinta, comprendiendo su importancia dentro del proceso productivo. Luego de entender el contexto operacional, fue posible reducir el campo de posibles fallas que originaron la avería del componente, mediante la aplicación de herramientas de análisis de falla, tales como Ishikawa y árbol de problemas para que en el análisis de causa-raíz se identifique la principal causa de falla.

A partir de los resultados que se obtuvieron de los métodos de análisis, se determinó la frecuencia y lubricante adecuado para el sistema de transporte, lo que permitió elaborar una propuesta de mejora enfocada en optimizar el método de lubricación, frecuencia y la posible implementación de dispensadores automáticos.

Finalmente, el análisis de costo-beneficio no solo confirmó la viabilidad técnica y económica de la propuesta, sino que se evidenció beneficios operacionales significativos. La implementación del dispositivo de lubricación automatizado garantiza una dosificación adecuada, evitando la falta o exceso de lubricante. Además, se logró una reducción importante en las horas hombre destinadas a la ruta de lubricación, y con ello, una disminución en los tiempos de intervención del equipo contribuyendo directamente a una mayor continuidad operacional de la cinta transportadora de coque CR-1401.

BIBLIOGRAFIA Y FUENTES DE LA INFORMACION

1. CEMA. (2020). Belt conveyors for bulk materials (7th ed.). Conveyor Equipment Manufacturers Association.
2. DIN. (2018). DIN 51825: Lubricating greases – Classification and requirements. Deutsches Institut für Normung.
3. Ishikawa, K. (1986). Guide to quality control (2nd ed.). Asian Productivity Organization.
4. ISO. (2014). ISO 55000: Asset management – Overview, principles and terminology. International Organization for Standardization.
5. Kennedy, J. (2018). Modern conveyor systems in industry. *Journal of Engineering and Technology*, 12(3), 45–59.
6. Mobley, R. K. (2002). An introduction to predictive maintenance (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
7. OSHA. (2020). Conveyor safety standards. Occupational Safety and Health Administration. <https://www.osha.gov>
8. Roverts, M. (2019). History and evolution of conveyor belts. *Engineering Review*, 8(2), 33–40.
9. SKF Group. (2021). Lubrication management and reliability. SKF. <https://www.skf.com>
10. SKF. (2023). 22211 EK spherical roller bearings – technical specifications. SKF. <https://www.skf.com/cl>
11. SKF. (2023). Gas driven single-point automatic lubricators. SKF. <https://www.skf.com/cl/products/lubrication-management>
12. Smith, J., & Brown, L. (2017). Industrial maintenance and operational reliability. McGraw-Hill.
13. Totten, G. E. (2017). Handbook of lubrication and tribology (2nd ed.). CRC Press.
14. CSI Ltda. (2023). Presentación corporativa: Servicios de lubricación industrial. Compañía de Servicios Industriales. <https://www.csiltda.cl>

ANEXOS

COTIZACIÓN DISPENSADOR AUTOMÁTICO

COPEC

Mobil

Señores:
ENAP REFINERIAS S.A., ENAP REFINERIAS, IMP ELAB COM HIDROCARBURO
RUT: 87.756.500-9 COD-SAP: 722890

GERENCIA DE LUBRICANTES
Ref: Cotización Nº 98317

De acuerdo a la referencia,
Enviamos a ustedes nuestra oferta de productos detallada a continuación:

#	Nombre Producto	Código	Lts/kgs Envase	Cantidad	Moneda	Precio Neto por: U. de venta	Monto Neto
1	DISP GAS-S 125 MOBILGREASE XHP 222	820323	CAJA 10 UNDADES	1	CLP	\$ 350.000	\$ 350.000
2	TLSO DRIVE	820241	CAJA 10 UNDADES	1	CLP	\$ 450.000	\$ 450.000
Total Neto Cotización							\$ 800.000

Observaciones:

- Condición de pago: 45 Días Crédito

- Lugar de entrega: LOCAL. CONCON

- La Orden de Compra deberá ser dirigida a "Copec S.A.", Rut 99.520.000-7,
via e-mail a copecenlinea@copec.cl, con copia a CRSILVA@COPEC.CL

- Validez de esta oferta: 30 días desde acuso de recibo

- Valores indicados no incluyen IVA

Saluda atentamente,

CHRISTIAN SILVA

figura anexo 1: Cotización dispensador automático a gas.
Fuente: Empresas COPEC.