



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD TECNOLÓGICA
DEPARTAMENTO DE ENERGÍAS

PROPUESTA PLAN DE MEJORA DE UNA CORREA TRANSPORTADORA
CV-004 EN MINERA SPENCE, REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título
de Ing. en Mantenimiento Industrial

Profesor tutor: Jorge Reyes Huencho

Alumna: Camila Acuña Guzmán

Copiapó, Chile 2023

INDICE DE CONTENIDO

CAPITULO I	1
INTRODUCCION	1
1.1 Síntesis de Proyecto	2
1.2 Objetivo General	2
1.3 Objetivos Específicos	2
1.4 Metodología	3
CAPITULO II	4
MARCO TEORICO	4
2.1 Minera Spence	5
2.2 Correa Transportadora	6
2.3 Polines de Carga	7
2.4 Polines de Retorno	7
2.5 Polines de Impacto	7
2.6 Polines Autocentrantes de Retorno	9
2.7 Polines de Transición	9
2.8 Polea o Tambor Motriz	9
2.9 Polea de Retorno o Cola	10
2.10 Chute de Traspaso	11
2.11 Placa Deflectora	11
2.12 Placa Guiadora	12
2.13 Gualdera	13
2.14 Raspadores de Correas	14
CAPITULO III	15
DATOS TÉCNICOS DE CORREA TRANSPORTADORA CV-004 Y FILOSOFIA DE OPERACIÓN	15
3.1 Datos Técnicos de CV-004	15
3.2 Filosofía de Operación	16

CAPITULO IV	17
ANTECEDENTES DE FALLA DE LA CORREA TRANSPORTADORA	17
4.1 Descripción de la Falla	17
4.2 Historial de Fallas y Eventos Importantes en CV-004	18
4.3 Causas de la Falla y Validación de Hipótesis	19
CAPITULO V	24
SOLUCIONES A LAS CAUSAS DE LA FALLA DE LA CV-004	24
5.1 Solución al Deslizamiento Prolongado de la Polea Motriz Durante Accionamiento de Partida Lenta	24
5.2 Solución a la Comunicación Deficiente Entre Sala de Control y Operador de Terreno	25
5.3 Solución a la Excesiva Fricción Entre Polea Motriz y Correa Durante Accionamiento de Motor Principal	26
5.4 Solución a la Operación de Correa Transportadora con Contrapeso a Piso 26	
CAPITULO VI	27
PLAN DE MEJORA EN LA CV-004	27
6.1 Estudio y Características de Propuesta de Mejora de Correa Transportadora CV-004	27
6.2 Análisis y Comparativa de Costos	29
CAPITULO VII	30
BENEFICIOS DEL PLAN DE MEJORA EN LA CV-004	30
7.1 Seguridad	30
7.2 Confiabilidad del Equipo Transportador CV-004	31
7.2.1 Confiabilidad en el Mes de Septiembre	31
7.2.2 Confiabilidad en el Mes de Octubre	32
7.2.3 Confiabilidad en el Mes de Noviembre	33
7.2.4 Confiabilidad en el Mes de Diciembre	33
7.2.5 Confiabilidad en el Mes de enero	34
7.2.6 Confiabilidad en el Mes de Febrero	35
7.2.7 Análisis de Horas Detenidas y Confiabilidad	36

CAPITULO VIII	38
PROCEDIMIENTO DE CAMBIO DE CINTA TRANSPORTADORA	38
8.1 Requerimiento de Personal	38
8.2 Elementos de Protección Personal	38
8.3 Materiales y Equipos de Trabajo	39
8.4 Requerimientos Mecánicos	40
8.5 Procedimiento de Cambio de Correa Transportadora	40
CONCLUSIONES	45
BIBLIOGRAFIA	46
REFERENCIAS	46
GLOSARIO	47

INDICE DE ILUSTRACIONES Y CUADROS

Ilustración 1: Diagrama de Flujo de Chancado	5
Ilustración 2: Correa Transportadora.....	6
Ilustración 3: Polines de Carga.....	7
Ilustración 4:Polines de Retorno	7
Ilustración 5:Polines de Impacto	8
Ilustración 6: Polines Autocentrantes de Retorno	8
Ilustración 7: Polines de Transición.....	9
Ilustración 8: Polea o Tambor Motriz	10
Ilustración 9: Polea de Retorno o Cola	10
Ilustración 10:Chute de Traspaso	11
Ilustración 11: Placa Deflectora	12
Ilustración 12: Placa Guiadora.....	13
Ilustración 13: Gualdera	13
Ilustración 14: Raspadores de Correas.....	14
Ilustración 15: Esquema de Correa Transportadora CV-004.....	16
Ilustración 16: Esquema Sistema Motriz.....	16
Ilustración 17: Gráficas de Corriente de Motor Pony.....	20
Ilustración 18: Gráficas on/off Motor Pony (roja) vs Motor Principal (morada) ..	21
Ilustración 19: Posicionamiento de Contrapeso.....	22
Ilustración 20: Extracto de Procedimiento de Área Seca - Minera Spence.....	25
Ilustración 21: Gráfica de Horas de Detención por Mes	36
Ilustración 22:Chute de Confiabilidad por Mes	37

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos Técnicos de Correa Transportadora	15
Tabla 2: Historial de Fallas y Eventos Importantes en CV-004	18
Tabla 3: Causas y Contramedidas de Falla en CV-004.....	24
Tabla 4: Comparación de Tensiones de Cintas Transportadoras.....	28
Tabla 5: Costos Asociados a la Falla de la CV-004.....	29
Tabla 6: Costos de Correa Actual y Propuesta de Correa.....	29
Tabla 7: Historial de Fallas en Correa CV-004 de Septiembre.....	31
Tabla 8: Historial de Fallas en Correa CV-004 de Octubre	32
Tabla 9: Historial de Fallas en Correa CV-004 de Noviembre.....	33
Tabla 10: Historial de Fallas en Correa CV-004 Diciembre.....	33
Tabla 11: Historial de Fallas en Correa CV-004 de Enero	34
Tabla 12: Historial de Fallas en Correa CV-004 de Febrero.....	35

RESUMEN

En el presente proyecto de título se describe un plan de mejora en una correa transportadora CV-004, en éste se realiza un análisis de falla del equipo, ya que es crítico en la línea de chancado de Minera Spence. El objetivo es crear un plan de mejora que controle la repetitividad de esta falla, impactando de forma positiva los indicadores claves de mantenimiento, la seguridad de los equipos y las personas.

La necesidad de analizar este plan nace principalmente de crear un entorno seguro para las personas que están expuestas al trabajo con correas transportadoras. Además, este tipo de fallas afectan negativamente la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, por lo tanto impactan la producción y la operatividad de la planta.

La mejora consiste en realizar un cambio en el diseño del núcleo de la cinta transportadora, volviéndose más resistente y duradera y, además, habilitar un dispositivo de seguridad electrónico que detenga la correa al momento de no trabajar correctamente, protegiéndola así de daños mayores.

Se realiza un estudio de los antecedentes de la falla, analizando las causas y sus contramedidas. Además, se calculará la confiabilidad durante cinco meses antes de la falla catastrófica en la cinta transportadora, para determinar cómo se ve afectado este KPI y los costos que genera la detención de este equipo en la planta del Área Seca.

Además, se realiza una comparación de la correa actual Nylon Nylon con la propuesta de mejora de núcleo de acero y cuáles son las características que benefician el buen funcionamiento en el tiempo y aumenta la operatividad del equipo.

**PROPUESTA PLAN DE MEJORA DE UNA CORREA TRANSPORTADORA
CV -004 EN MINERA SPENCE, REGION DE ANTOFAGASTA, CHILE.**

ABSTRACT

This title Project describes an improvement plan for a CV-004 conveyor belt in which a failure analysis of this equipment is carried out, since it is critical in the Minera Spence crushing line. The objective is to create an improvement plan that controls the repetitiveness of this failure, positively impacting key maintenance indicators, the safety of equipment and people.

The need to analyze this plan arises primarily from creating a safe environment for people who are exposed to working with conveyor belts. Furthermore, this type of failure negatively affects the availability and reliability of the equipment, therefore impacting the production and operation on the plant.

The improvement consists of making a change in the design of the conveyor belt casing, making it more resistant and durable and, in addition, enabling an electronic safety device that stops the belt when it is not working correctly, thus protecting it from further damage.

A study of the history of the failure is carried out, analyzing the causes and their countermeasures. Additionally, reliability will be calculated for five months prior to the catastrophic failure of the conveyor belt, to determine how this KPI is affected and the costs generated by the stoppage of this equipment at the Dry Area plant.

In addition, a comparison is made of the current Nylon Nylon belt with the steel core improvement proposal and what are the characteristics that benefit good performance over time and increase the operability of the equipment.

PROPOSED IMPROVEMENT PLAN FOR A CV-004 CONVEYOR BELT IN
MINERA SPENCE, ANTOFAGASTA REGION, CHILE

CAPITULO I

INTRODUCCION

La importancia de las correas transportadoras en la minería ha crecido de manera exponencial. Según los especialistas si se analiza un proceso de carguío y transporte de mineral existían tres alternativas, donde los camiones tenían la mayor importancia, luego el tren y en tercer lugar las correas.

Esto se debía principalmente a que la tecnología aplicada al desarrollo de las correas transportadoras no lograba hacer de éstas un producto competitivo y resistente en comparación con los camiones y el tren. Había mucha incertidumbre con los empalmes, los compuestos y principalmente los sensores de ruptura en caso de un corte longitudinal en la correa.

En los últimos 15 años se ha producido un salto tecnológico. Los fabricantes han logrado desarrollar tecnología para darles mayores fortalezas y resistencias.

Pero los avances de estos equipos no se han detenido, ya que las compañías mineras vienen incorporando muy fuerte el concepto de confiabilidad en el transporte de los minerales, lo cual se refiere al grado de predictibilidad sobre la posible falla de una correa transportadora. Esto es de ayuda, ya que anteriormente las correas paraban cuando el sensor de corte correa actuaba. En cambio, hoy en día, aplicando los conceptos de confiabilidad, es posible predecir situaciones de riesgo y detener los sistemas antes de que se produzca la falla, evitando los daños a los componentes del transportador y previniendo el riesgo de los operadores. Por lo tanto, el ahorro en tiempo y en dinero resulta mucho mayor.

En Minera Spence, específicamente en la planta de chancado, el equipo transportador CV-004 presenta dos inconvenientes, el primero generado por la elongación de la correa y el segundo por deshabilitación de equipos electrónicos de protección de la misma. Se estudiarán la factibilidad de las opciones para subsanar los actuales problemas originados en la correa transportadora, las que han generado impactos significativos en la seguridad de las personas y equipos, además de los impactos negativos en los indicadores claves para la productividad de la planta de procesamiento.

1.1 Síntesis de proyecto

Este plan estará enfocado en optimizar la disponibilidad, confiabilidad e indicadores claves de desempeño (KPI) de la correa transportadora, mediante el análisis detallado de su funcionamiento, la detección de fallas críticas, la identificación de causas raíz y la formulación de estrategias de mejora efectivas. Además, se evaluará la viabilidad económica de la propuesta de mejora, con el objetivo de contribuir significativamente a la eficiencia operativa y la rentabilidad de la mina. Al alcanzar este objetivo, se buscará brindar un aporte concreto al sector minero, aplicando conocimientos de ingeniería en mantención industrial para enfrentar los desafíos específicos de la correa transportadora CV-004 en un contexto minero altamente demandante.

1.2 Objetivo general

El objetivo principal de este trabajo de titulación es proponer un plan integral de mejora para la correa transportadora CV-004 en la operación minera de Minera Spence, ubicada en la Región de Antofagasta, Chile.

1.3 Objetivos específicos

En el marco del tema "Propuesta Plan de Mejora de una Correa Transportadora CV-004 en Minera Spence, Región de Antofagasta, Chile," se han definido los siguientes objetivos específicos:

1. Analizar en profundidad el funcionamiento integral de la correa transportadora CV-004 en la operación del área seca de Minera Spence, comprendiendo sus componentes, interacciones y sistemas relacionados.
2. Identificar de manera precisa y sistemática las fallas principales presentes en la correa transportadora CV-004, empleando técnicas y métodos de diagnóstico avanzados, con el propósito de comprender a fondo las deficiencias que afectan su desempeño.

3. Determinar las causas raíz que contribuyen a las fallas identificadas, utilizando un enfoque de análisis de causa-efecto, para establecer un diagnóstico claro y fundamentado.
4. Desarrollar un plan de mejora exhaustivo que aborde las áreas de mantenimiento, operación y gestión, dirigido a optimizar la disponibilidad, confiabilidad y desempeño KPI (Indicadores Clave de Desempeño) de la correa transportadora CV-004.

1.4 Metodología

Para comenzar con el proyecto, lo primero que se hará es realizar un análisis de falla en la correa transportadora CV-004 por incendio ocurrido, describiendo detalladamente el evento, realizando una línea de tiempo, levantamiento de antecedentes relevantes, causas contribuyentes y acciones.

Posteriormente se analizarán las hipótesis los hallazgos y el planteamiento de oportunidades de mejora.

CAPITULO II

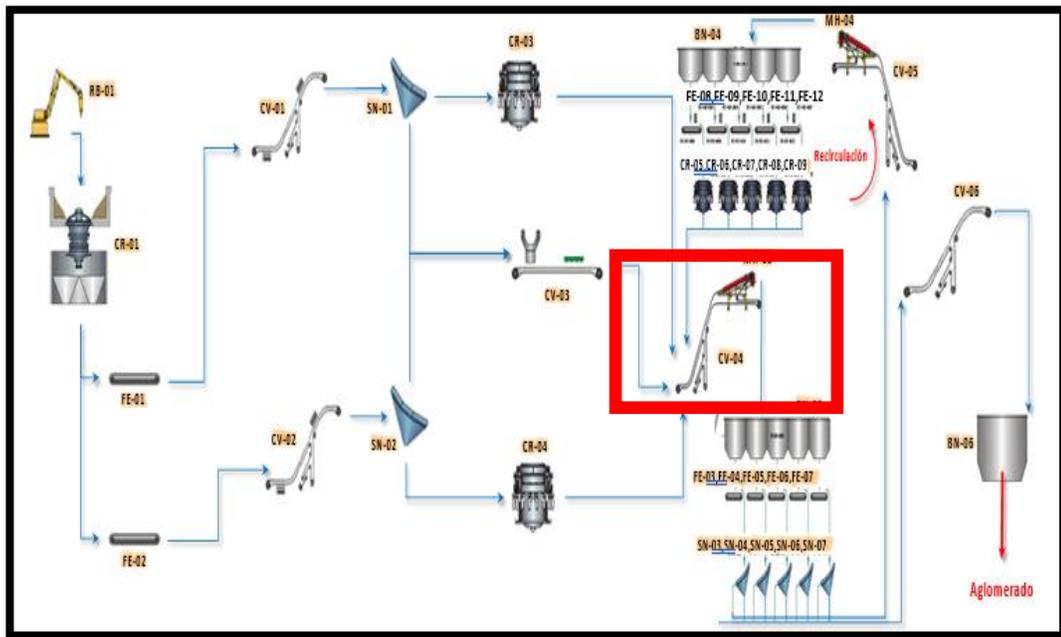
MARCO TEORICO

2.1 Minera Spence

Minera Spence, se dedica a la producción de cátodos de cobre por medio de una operación a cielo abierto en el municipio de Sierra Gorda, Región de Antofagasta (II), en el norte de Chile. Sus cátodos de cobre de alta pureza se obtienen tras un proceso que incluye lixiviación, extracción por solventes y electro-obtención, y se exportan principalmente a China, Italia y EE.UU. En 2015, la compañía presentó un estudio de impacto ambiental para aumentar la vida útil de su mina mediante la explotación de los recursos de sulfuros situados por debajo del actual yacimiento. El proyecto considera la construcción y operación de una nueva planta concentradora con una capacidad de tratamiento nominal de 95.000-100.000 T/d e infraestructura asociada para alcanzar una producción anual de 835.000 T de cobre en concentrado y 7.500 T de molibdeno. Además, contempla la construcción de una planta de desalinización que suministre alrededor de 800l/s de agua desalada para procesos industriales, así como un acueducto de 154 Km, una estación de bombeo y un tanque de almacenamiento de 4.000 m³ de capacidad.

En la Ilustración 1: Diagrama de flujo chancado, se observa el proceso que se ejecuta en el área seca de Minera Spence. Enmarcado en cuadro rojo se ubica la correa transportadora CV-004, la cual tiene una capacidad de diseño de 6.919 ton/hrs; 3.000 ton/hrs más de capacidad que todas las correas trasportadoras presentes en el circuito del área. La detención de la CV-004, genera la interrupción de la continuidad operacional en la planta de procesamiento de minerales.

Ilustración 1: Diagrama de Flujo de Chancado



Fuente: Sala de Control Área Seca – Minera Spence

2.2 Correa Transportadora

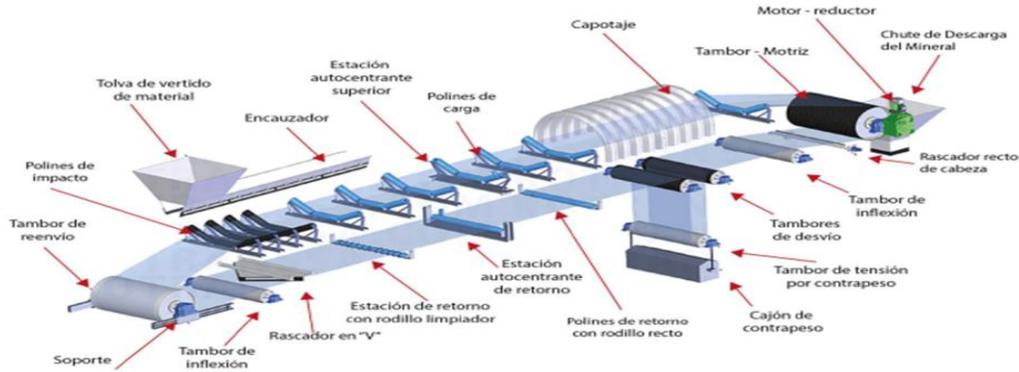
Las correas transportadoras han demostrado tener la capacidad de transportar materiales que varían desde rocas grandes de 10 pulgadas de diámetro, pesadas y filosas a partículas finas; de polvo húmedo, pegajoso y líquido a polvo seco; material sin harnear a arenas de fundición; de troncos de largo de un árbol a astillas de madera y hasta papas fritas.

De todos los sistemas de manejo de materiales las cintas transportadoras típicamente operan con:

- El menor costo de transporte por tonelada
- El menor costo de energía por tonelada
- El menor costo de mantenimiento por tonelada

- El menor costo de mano de obra por tonelada.

Ilustración 2: Correa Transportadora



Fuente: Curso Procesos Químicos Industriales

2.3 Polines de Carga

Como lo dice su nombre, su función es soportar y transportar la carga que está moviendo la faja transportadora. Conjunto de rodillos en los cuales se apoya el trecho cargado de la correa transportadora.

Ilustración 3: Polines de Carga



Fuente: Curso Procesos Químicos Industriales

2.4 Polines de Retorno

La función de estos polines es la de sostener la cinta que regresa a tomar de nuevo la carga. Están soportados por cojinetes lubricados con grasa.

Ilustración 4: Polines de Retorno

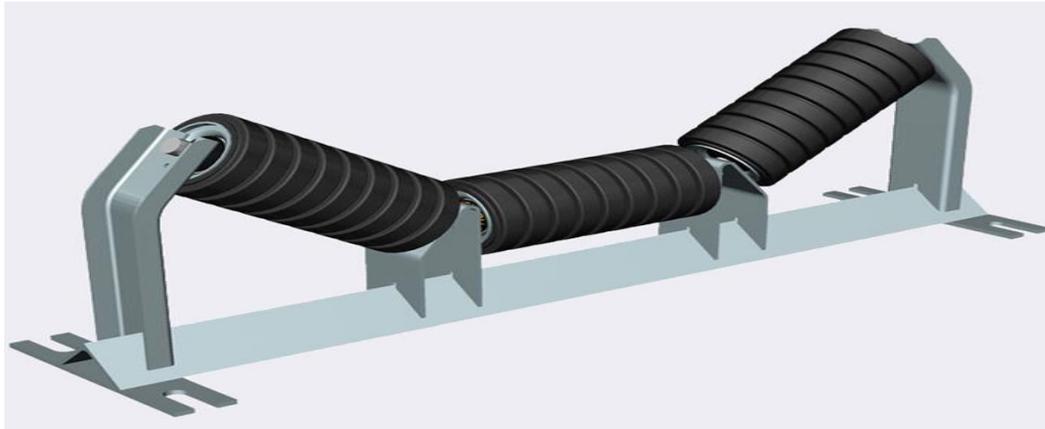


Fuente: Curso Procesos Químicos Industriales

2.5 Polines de Impacto

Están ubicados justo debajo de la descarga del buzón de la faja y reciben directamente la carga a medida que se descarga el suministro. El polín se encuentra totalmente revestido en goma, permitiendo amortiguar el impacto de golpe de la carga y de esta manera proteger la faja, evitando que se gaste o rompa durante el funcionamiento.

Ilustración 5: Polines de Impacto



Fuente: Curso Procesos Químicos Industriales

2.6 Polines Autocentrantes de Retorno

Están dispuestos en puntos estratégicos en toda la cinta transportadora a objeto de mantener alineada la faja cuando está funcionando con carga. Esto significa que controlan el movimiento lateral de la cinta transportadora de retorno.

Ilustración 6: Polines de Autocentrantes de Retorno



Fuente: Curso Procesos Químicos Industriales

2.7 Polines de Transición

La capacidad de cambiar la inclinación del rodillo permite que la cinta transportadora esté apoyada adecuadamente a medida que cambia la forma desde la última polea transportadora a la polea terminal.

Ilustración 7: Polines de Transición



Fuente: Curso Procesos Químicos Industriales

2.8 Polea o Tambor Motriz

Esta pieza de la correa cumple las siguientes funciones:

- Tracciona la correa transportadora, por ello está forrada en goma cuya superficie tiene forma de bizcocho
- Si su alineamiento es correcto mantiene centrada la correa transportadora.
- El diámetro del tambor tiene como objetivo permitir doblar la correa sin dañar las telas de la goma de que está confeccionada.

Ilustración 8: Polea o Tambor Motriz



Fuente: Curso Procesos Químicos Industriales

2.9 Polea de Retorno o Cola

Esta pieza se ubica en la zona de la correa opuesta al extremo de la descarga normal, si se requiere puede ser ajustable.

Ilustración 9: Polea de Retorno o Cola

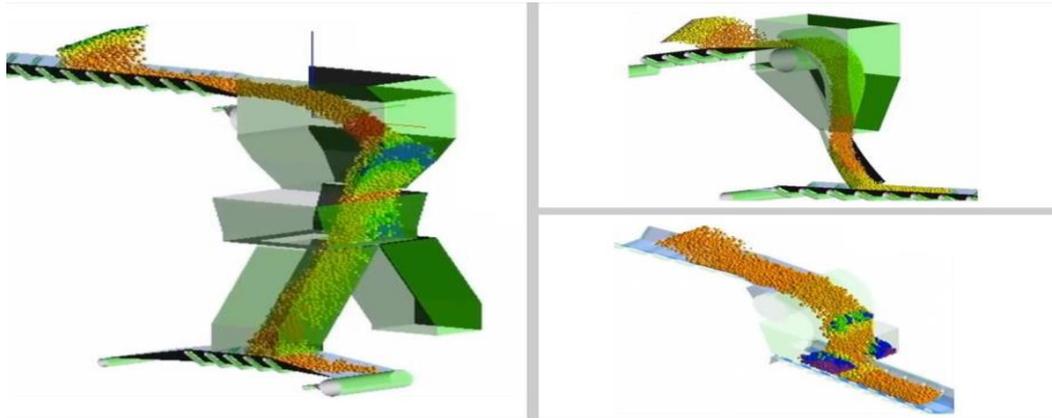


Fuente: Curso Procesos Químicos Industriales

3.0 Chute de Traspaso

Estructura metálica que sirve como una caja de paso de material entre una fuente de alimentación que bien puede ser un molino, un harnero, un chancador u otra en su superficie interna con planchas anti abrasivas o liners

Ilustración 10: Chute de Traspaso



Fuente: Curso Procesos Químicos Industriales

3.1 Placa Deflectora

La mayoría de las limitaciones en la productividad de las plantas de procesamiento de mineral no se genera en los equipos ni en los transportadores de correas, sino en los trasposos de mineral. Para corregir este problema es que a los chutes se le instalan deflectores con superficies curvas que reciben la carga sin impacto, cambian su trayectoria gradualmente y la deposita en la siguiente correa o equipo en forma alineada y en la dirección deseada. Al contar con deflectoras curvos, induce a que la carga se comporte como un flujo controlado. Se disminuye el consumo energético y el desgaste de la correa alimentada. Se eliminan derrames, se minimiza el polvo y se maximiza la productividad.

Estos deflectores se encuentran revestidos por placas anti-desgaste, que describen el mismo radio de curvatura que el deflector. Los deflectores son fácilmente desmontables. Así, en las paradas de mantenimiento programado, se sustituye un deflector completo en una acción rápida y segura, evitando ingresar al personal a cambiar placas dentro del chute de traspaso.

Ilustración 11: Placa Deflectora

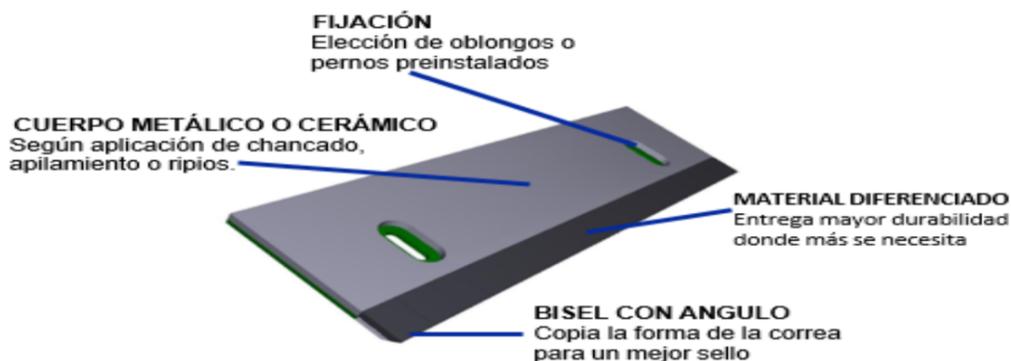


Fuente: Curso Procesos Químicos Industriales

3.2 Placa Guiadora

Las placas guidoras son esenciales para el trabajo de cualquier faena minera de gran envergadura. Contienen el flujo de mineral, evitan derrames, y permiten que la carga se ordene sobre la correa. Cuando éstas no realizan su trabajo se compromete el sistema de transporte, dañando la correa, los polines, y generando detenciones no programadas para labores de aseo. Las placas guidoras son diseñadas en materiales de alta tecnología, esto genera ahorros al evitar derrames, eliminar detenciones no programadas, disminuir la frecuencia de detenciones por mantención y aumentar la vida útil de la correa.

Ilustración 12: Placa Guiadora

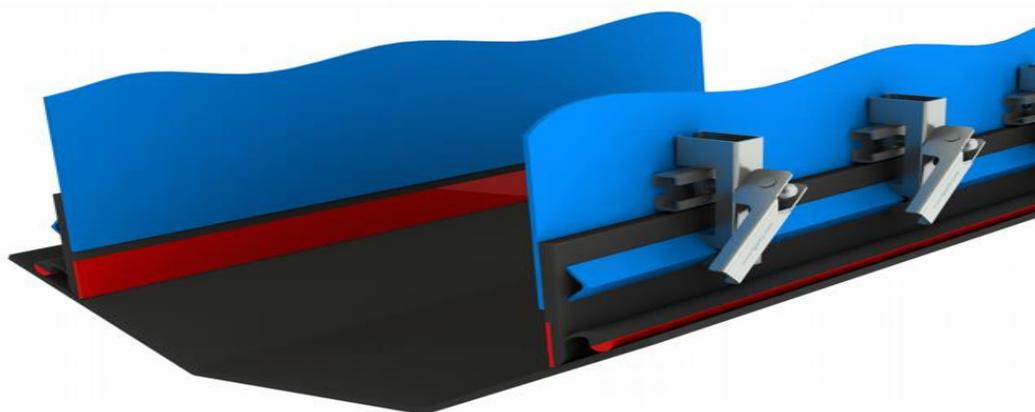


Fuente: Curso Procesos Químicos Industriales

3.3 Gualdera

Es una solución práctica, efectiva y de bajo costo para el control de polvo en correas transportadoras. Se instala con facilidad en la mayoría de los cajones de recepción. La fijación se realiza mediante un perfil metálico, que luego puede ser soldado a la pared del chute existente. Enseguida, el sello simplemente se encaja en su posición.

Ilustración 13: Gualdera



Fuente: Curso Procesos Químicos Industriales

3.4 Raspadores de Correas

Debido al material adherido en la cubierta de la correa transportadora, durante el retorno se genera el desprendimiento del material adherido a lo largo de toda la correa, desgastando poleas motrices, poleas deflectoras, polea de cola, polines de retorno y correa, acortando la vida útil y generando más detenciones que involucran el cambio de equipos, limpieza o aseo y recursos. Para disminuir las detenciones por acumulación bajo correa, se instalan raspadores de correa en sectores estratégicos. Estos raspadores de correa desprenden mayormente el material adherido a la correa permitiendo menos detenciones por acumulación de material y alarga la vida útil de correas, poleas y polines.

Ilustración 14: Raspadores de Correas



Fuente: Curso Procesos Químicos Industriales

CAPITULO III

DATOS TÉCNICOS DE CORREA TRANSPORTADORA CV-004 Y PUESTA EN SERVICIO

3.1 Datos Técnicos de CV-004

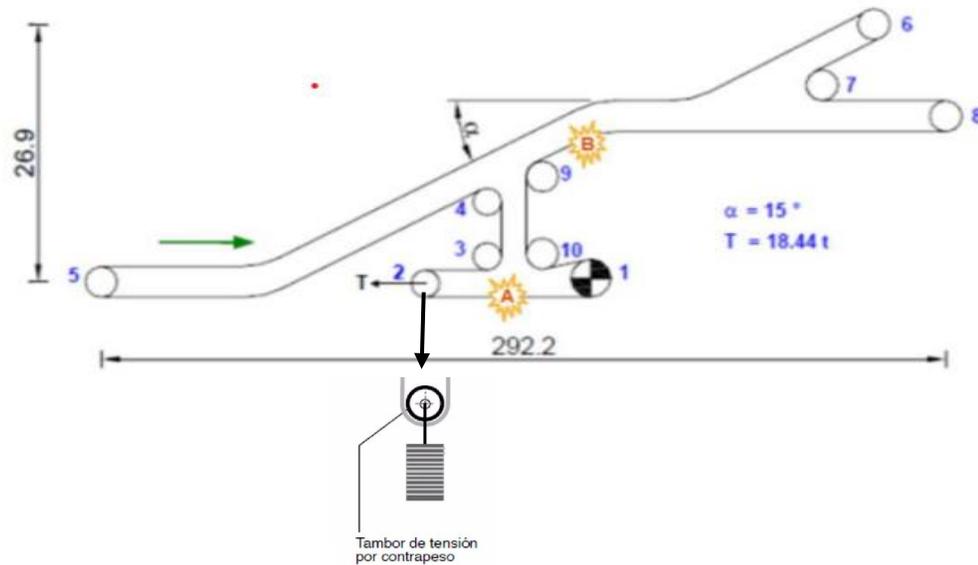
La correa transportadora CV-004 posee un núcleo textil compuesto por Nylon Nylon (NF) (Bridgestone, 2017) que conlleva a que la correa transportadora tenga una mayor elongación pudiendo llegar a un máximo de 4% del desarrollo total de la cinta.

Tabla 1: Datos Técnicos de Correa Transportadora

Datos técnicos	Tag de equipo: CV-004
Elevación [m]	26,9
Capacidad de Diseño [ton/hrs]	6.919
Capacidad Nominal [ton/hrs]	5.472
Velocidad de Diseño [m/s]	3,7
Largo de correa [m]	598
Ancho de correa [mm/”]	1.829/72
Tipo	Nylon Nylon
Especificación [KN/m/Ply]	NF 2000/5
Tensión de ruptura [KN/m]	2000
Tensión de operación [KN/m]	200
Espesor carcasa [mm]	9,1
Espesor cubierta superior [mm]	16
Espesor cubierta inferior [mm]	6

Fuente: Elaboración Propia con Datos de Manual de Correa

Ilustración 15: Esquema de Correa Transportadora CV-004

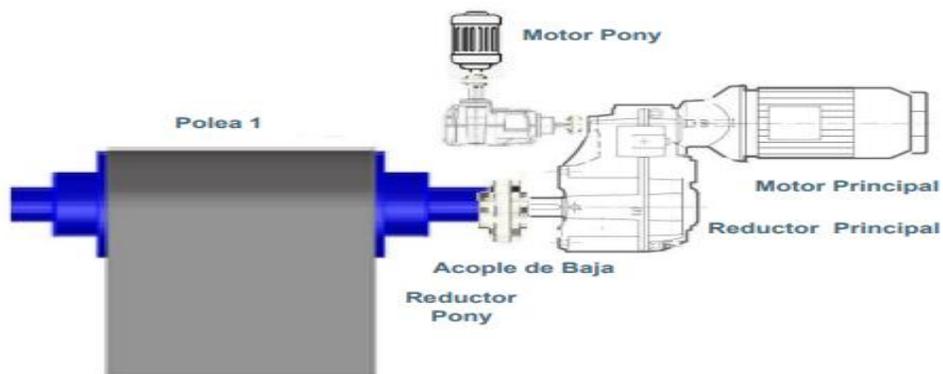


Fuente: Manual Técnico de Correas - Minera Spence

3.2 Puesta en Servicio

El sistema motriz de la correa 35-CV-004, cuenta con un motor-reductor de partida lenta “Motor Pony”, el cual debe realizar el vaciado de la correa previo a la puesta en servicio del motor principal de la correa. Esto debido a la elevación del transportador y material transportado en el mismo (6.919 Ton/hrs). El tiempo estimado de operación del motor “pony” es de 10 minutos; transcurrido ese tiempo se da partida al motor principal.

Ilustración 16: Esquema Sistema Motriz



Fuente: Manual Técnico de Correas - Minera Spence

CAPITULO IV

ANTECEDENTES DE FALLA DE LA CORREA TRANSPORTADORA CV-004

Existen muchos diseños de correas transportadoras disponibles en el mercado, desarrollados para resolver problemas únicos y difíciles, específicos a una industria o material a granel en particular. Sin embargo, independiente a la elección del principio de diseño, se presentan fallas comunes, las cuales pueden determinar el éxito o fracaso de la alternativa escogida.

Las correas transportadoras presentan una variedad de fallas, las que pueden ser de baja magnitud, como un desalineamiento, daños o desgastes en la cubierta de carga o cantos de la cinta, derrames de material o daños por impacto; pero también existen fallas de alto potencial, por ejemplo: falla en empalmes que puedan generar cortes de cintas, desplazamientos de poleas e incluso incendios.

En relación con la correa transportadora CV-004 se produjo una falla de gran magnitud, debido una elongación prematura, culminando en un incendio y corte de la cinta, cuyas causas fueron analizadas en el marco de este proyecto.

4.1 Descripción de la Falla

EL 18 de febrero del 2023, durante operación normal de la planta, en turno de noche se detiene el carro repartidor MH-003 por falla de posicionamiento, generando detención por interlock de la correa transportadora CV-004.

Posterior a estas pruebas se inicia la secuencia de puesta en marcha de la correa CV-004 poniendo en servicio durante 10 minutos el motor con partida lenta “pony drive”. Transcurrido ese tiempo se da partida al motor principal de la correa, el cual se mantiene en servicio durante 2 minutos, ya que se detiene de forma automática por activación de sensor de velocidad cero; se intenta retomar la puesta en marcha, dando una partida lenta; sin embargo, personal presente en el área detiene el equipo tras observar humo y llama en

la zona del sistema motriz de la correa. De forma inmediata se activan los protocolos de seguridad por evento de incendio.

En inspección realizada en terreno, se detecta corte de cinta, con extremos ubicados en sistema motriz (Punto A) y en plano inclinado cercano a MH-003(punto B); como indica la ilustración:15.

4.2 Historial de Fallas y Eventos Importantes en CV-004

La falla ocurrida el 18 de febrero de 2023 fue catastrófica, ya que generó una detención de 90,8 horas. El origen de esta falla se debe a la elongación de la correa, llegando al punto de operar con el contrapeso a piso, lo cual ocasionó que se generara deslizamiento entre correa-polea motriz, elevando la temperatura debido a la fricción, hasta el punto de inflamación de la correa transportadora.

Es importante mencionar que este tipo de falla ha ocurrido en años anteriores al menos tres veces más.

Tabla 2: Historial de Fallas y Eventos Importantes en CV-004

Fecha de Evento	Evento	Descripción de evento	Horas de detención
07-10-2022	Atollo por “cuña” de mineral	Tras activación de protecciones en tripper MH-003, contrapeso llegan a pisos durante intentos de puesta en marcha con partida lenta “pony” y correa aprisionada por “cuña” de mineral en sector de chutes de descarga de chancadores.	9,25
25-01-2023	Cambio de correa	Durante detención mayor se realiza cambio por condición de desgaste de la totalidad de la correa CV-004. La correa que se cambió era de las mismas	0

		características que la anterior (Nylon-Nylon)	
09-02-2023	Estiramiento de correa	Debido al acercamiento del contrapeso a piso, generado por elongación plástica de la correa como una etapa normal del proceso en elongación de una correa nueva, se desplaza posición de polea tensora sobre carro tensor para entregar más recorrido al carro tensor y disminuir la probabilidad de que el contrapeso llegue a piso.	0
18-02-2023	Incendio	Se produce incendio en correa, generando riesgo de seguridad corte de cinta y detención de la línea de producción. Las fallas se presentan durante pruebas de posicionamiento del tripper MH003 por activación de lógica de protección de éste. El inicio de las llamas es detectado por técnico eléctrico.	115,18

Fuente: Elaboración Propia con Datos de Investigación de Falla – Minera Spence

4.3 Causas de la Falla y Validación de Hipótesis

Los eventos asociados a la correa transportadora CV-004 se producen en su mayoría por la elongación que presenta en el tiempo, la cual estaba en monitoreo constante por expertos en correas transportadoras, mantenedores y operadores del área de chancado, sin embargo, las inspecciones constantes no fueron eficientes, ya que el escenario más catastrófico ocurrió.

Es por esta razón que se analizan todas las causas de la falla acontecida y las hipótesis con el objetivo de descartarlas o validarlas, para luego buscar las soluciones que contribuyen a evitar repetir este acontecimiento.

- Primera Hipótesis: Deslizamiento prolongado entre correa-polea motriz durante accionamiento con partida lenta

El deslizamiento prolongado entre correa y polea motriz durante 10 minutos eleva la temperatura debido a la fricción.

Ilustración 17: Gráficas de Corriente de Motor Pony



Fuente: Sala de Control Área Seca

Resultado de primera hipótesis – Validada:

De acuerdo con las gráficas de corriente y on/off del motor pony se evidencia en tercer pick de corriente la operación del motor pony durante 10 minutos; sin embargo, posterior al evento de incendio, durante la inspección y levantamiento de daños se observa que la correa mantiene carga acumulada en gran parte de su recorrido (zona de carga), la cual debió ser desalojada durante los 10 minutos de operación del motor pony previo a la falla.

Por otro lado, en el tercer pick de la gráfica de corriente, se distingue un pick inicial de corriente fuera de rango y niveles de corriente ligeramente superior al primer pick de corriente.

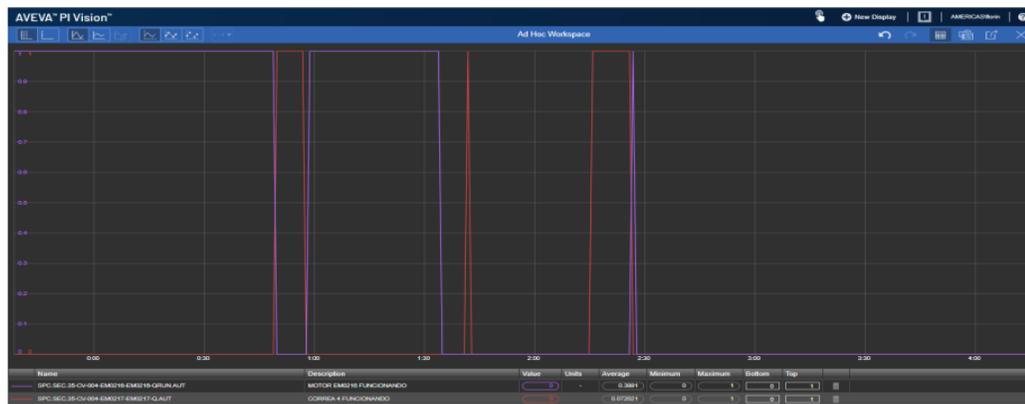
De la revisión de la lógica de control y protecciones existentes en la correa se detecta la ausencia de protección por resbalamiento/velocidad cero durante accionamiento con

motor pony y ausencia de lazo de control para operación de motor pony (no considerado en diseño original de la correa).

- Segunda Hipótesis: Comunicación deficiente entre operador del Centro Integrado de Operaciones (CIO) y operador de terreno.

Operador de sala de control (CIO) le da partida al motor pony durante 10 minutos a correa transportadora, luego de este tiempo la correa transportadora debe quedar completamente sin carga de mineral y se procede a dar partida al motor principal. Operador CIO le da partida durante 2 minutos al motor principal, sin que operador de terreno verifique que efectivamente la correa esté sin carga.

Ilustración 18: Gráficas on/off Motor Pony (roja) vs Motor Principal (morada)



Gráficas on/off motor pony (línea roja) vs motor principal (línea morada)

Fuente: Sala de Control Área Seca

Resultado de Segunda Hipótesis – Validada:

Se detecta comunicación deficiente entre CIO (centro integrado de operaciones) y Operadores, ya que de la revisión de comunicación por radio frecuencia registrada durante el evento, desde el inicio de la detención, las pruebas de recorrido realizadas en MH003 y durante los intentos de puesta en marcha de la correa, no se evidencia la confirmación desde terreno del vaciado completo de la correa, para avanzar en la puesta en marcha del motor principal de la correa (comunicación entre CIO y operaciones)

Posterior al evento de incendio, se verifica acumulación de mineral en la zona de carga de la correa transportadora, validando la hipótesis de partida de motor principal con la correa con carga.

- Tercera Hipótesis: Operación de la Correa con el Contrapeso Tocando Piso.

Similar al evento de acuñamiento con carga registrado el 07 de octubre de 2022, la elongación de la correa transportadora supera la correa del carro tensor, generando que la correa trabaje con el contrapeso tocando piso.

Ilustración 19: Posicionamiento de Contrapeso



Fuente: Elaboración Propia

Resultado de Tercera Hipótesis - Validada:

La elongación de la correa transportadora no permite la tracción de la cinta con la polea motriz, impidiendo la transmisión del movimiento, generando fricción y aumento de temperatura.

- Cuarta Hipótesis: Excesiva fricción entre polea motriz y correa durante accionamiento con motor principal.

Con la partida del motor pony, durante 10 minutos, la correa transportadora se debía vaciar, sin embargo, no ocurrió. Por procedimiento de trabajo luego de este tiempo la correa transportadora queda completamente sin carga de mineral y se le debe dar partida al motor principal.

El deslizamiento prolongado entre correa y polea motriz durante 10 minutos eleva la temperatura debido a la fricción y una vez puesta en servicio del motor principal, la fricción aumenta aún más por la velocidad mayor del motor hasta el punto de inflamación de la correa transportadora.

Resultado de Cuarta Hipótesis – Validada:

De la gráfica de corriente y gráfica on/off del motor principal, posterior a la operación del motor pony, durante 10 minutos, se observa operación del motor principal durante 2 minutos, sin movimiento de la correa (generador de incendio en correa), lo que queda de manifiesto por el mineral en la zona de carga de la correa transportadora.

De acuerdo con la configuración actual en la lógica de control debieron activarse las protecciones en un tiempo del motor principal evitando la operación del motor durante los 2 minutos sin movimiento de la cinta (Protección velocidad cero:10 segundos; Protección deslizamiento:15 segundos) sin embargo, se evidencia un tiempo de respuesta de detención inadecuado en estas protecciones.

CAPITULO V

SOLUCIONES A LAS CAUSAS DE LA FALLA DE LA CV-004

Una vez analizadas todas las causas de la falla de la correa transportadora CV-004 se proponen soluciones a cada una de éstas con el objetivo de evitar que ocurra nuevamente este evento catastrófico.

Tabla 3: Causas y Contramedidas de Falla en CV-004

CAUSA DIRECTA	CONTRAMEDIDA
Deslizamiento prolongado de polea motriz durante accionamiento de partida lenta	Instalación de protección por resbalamiento / velocidad cero durante accionamiento con partida lenta e incorporar a la lógica de control
Se da partida lenta a la correa por 10 minutos y posteriormente dos minutos con motor principal, sin que se advierta que la correa no se mueve. Existiendo una comunicación deficiente entre operador CIO y Operador de terreno.	Establecer en procedimiento de operación de la correa las condiciones a validar desde terreno antes de la puesta en marcha de la correa Incluir filosofía de operación de la partida lenta en procedimiento de operación del motor pony previo a puesta en marcha del motor principal.
Excesiva fricción entre polea motriz y correa durante accionamiento con motor principal.	Verificar y ajustar tiempo de respuesta de sensores de protección (velocidad cero/deslizamiento con motor principal)
Operación de correa con contrapeso tocando piso. Este punto no se pudo verificar, pero es una causa que se debe analizar	Evaluar correas con características técnicas que minimicen la elongación por sobre esfuerzo y que mantenga las características de la correa actual que evitan la falla de apertura de empalmes.

Fuente: Elaboración Propia

5.1 Solución al Deslizamiento Prolongado de Polea Motriz Durante Accionamiento de Partida Lenta

El 15 de agosto de 2023 se instalan sensores de resbalamiento y de velocidad cero en la polea motriz de CV-004, adicionalmente se configura e incorpora en la lógica de control, logrando de ésta forma que la correa transportadora se detenga por enclavamiento en caso de que la polea no esté transmitiendo el movimiento a la cinta transportadora y evitando de ésta forma que se eleve la temperatura generada por la fricción.

5.2 Solución a la Comunicación Deficiente entre Sala de Control y Operador de Terreno.

El 03 de abril de 2023 se modifica el procedimiento P-PRCA-OS-315 – OPERACIÓN ÁREA 30 Y 35, incorporando específicamente los tiempos que se deben esperar para darle partida a motor pony y motor principal; además, el operador de terreno debe verificar visualmente que la correa transportadora se encuentre vacía para indicar a operador de sala de control la partida del motor principal.

Ilustración 20: Extracto de Procedimiento de Área Seca – Minera Spence

09. Correa transportadora 35-CV-004 capacidad max.6919Tph.	
<ul style="list-style-type: none">• Revisar alineamiento de correa empalmes desgaste o corte pasante en cinta.• Revisar estado de polines y poleas.• Revisar estructura como soportes estaciones de polines protecciones.• Revisar condición de raspadores.• Revisar sensores desalineamiento, corte correa, sensores de velocidad, sensor de atollo, pull cord con la piolas (botoneras de emergencia que se encuentren en posición y en buenas condiciones sino dar aviso a supervisor.• Revisar posición de sensores de temperatura.• Revisar estructura de traspaso de carga y descarga.• Revisar condición de cinta, empalmes.	
	<p>Antes de puesta en marcha:</p> <ul style="list-style-type: none">• Si 35-CV-004 se detiene con carga, se debe dar partida a motor pony hasta vaciarla, luego de 12 minutos coordinar operador terreno/operador CIO partida de motor principal (Inspección visual sistema tensor y sistema motriz).• Si correa se detiene en vacío, solicitar a operador CIO partida de motor Pony, si los parámetros de funcionamiento se encuentran normales, coordinar entre operador de terreno y operador CIO partida de motor principal. (Inspección visual sistema tensor y sistema motriz).

Fuente: Modificación Propia – Minera Spence

5.3 Solución a la Excesiva Fricción entre Polea Motriz y Correa Durante Accionamiento de Motor Principal

Se verifican operatividad de sensores de deslizamiento y velocidad cero, sin embargo, no se encuentra operativos e integrados a la lógica de control. El 15 de agosto de 2023 se instalan sensores de resbalamiento y de velocidad cero en la polea motriz de CV-004, adicionalmente se configura e incorpora en la lógica de control, controlando de ésta forma que la correa transportadora se detenga por enclavamiento en caso de que la polea no esté transmitiendo el movimiento a la cinta transportadora y evitando de ésta forma que se eleve la temperatura generada por la fricción.

5.4 Solución a la Operación de Correa Transportadora con Contrapeso a Piso

Se debe evaluar correas transportadoras con características técnicas que minimicen la elongación por sobre esfuerzo y que mantenga las características de la correa actual que evite la falla de abertura de empalme (Núcleo menor 9,2 mm)

CAPITULO VI

PLAN DE MEJORAR EN LA CV-004

Al estudiar las causas de la falla y sus soluciones queda evidenciado que, de las cuatro causas, tres de ellas ya se administraron con las soluciones correspondientes; sin embargo, la causa con mayor efecto, aun no se ha implementado.

El objetivo de concluir el plan de mejora en la correa transportadora es evaluar la viabilidad de realizar el cambio de las características de la cinta, que permita seguir operando dentro de parámetros adecuados, para resguardar la seguridad de las personas y aumentar la confiabilidad del equipo.

6.1 Estudio y Características de Propuesta de Mejora de Correa Transportadora CV-004

“Transmatsol Ingeniería” expertos en correas transportadoras, que en base a los antecedentes de la situación actual confecciona una memoria de cálculo del equipo operando a 6.919 ton/hrs. Realizando un informe en el que analizan solo los puntos referentes a la operación del equipo transportador y sus componentes directos, sin incluir análisis estructurales, eléctricos o de otro tipo.

Transmatsol ingeniería en su resumen ejecutivo indica que al instalar una cinta ST 1600 con un máximo de diámetro de cable de acero de 6,2 mm puede subsanar los actuales problemas originados por la elongación de la cinta nylon nylon existente. Al poseer un diámetro inferior o igual a 6,2 mm asegura de que los diámetros de las poleas instaladas en el equipo transportador tengan el mínimo recomendado por norma DIN 22101, asociada al contacto con la correa en operación a máxima carga y máxima tensión, no dañando de manera directa y constante los cables de acero que actúan como resistencia a la tensión en la correa transportadora.

Este tipo de correa posee una elongación de 2,1 % evitando de manera sustancial las detenciones por resbalamiento de las poleas ocasionadas por las pérdidas de tensión, en condiciones de máxima carga (6.919 ton/hr) en donde se generan pick de carga de entre un 10 a 15 % del nominal transportado.

La Tensión de ruptura de esta cinta de acuerdo con la norma DIN 22101:2011-12 es de 1.600 kN/m y su tensión de operación es de 238,81 kN/m (al calcularla con el factor de seguridad mínimo de 6-7). La cinta está solicitada realmente a 170,8 kN/m en Operación lo que significa una solicitud del 71,52%, y un factor de seguridad en operación de 9,37 siendo un valor adecuado.

En la partida la cinta está solicitada a 196,99 kN/m lo que equivale a un porcentaje de solicitud de 82,49% y un factor de seguridad de 8-12, siendo un valor adecuado, ya que el mínimo es 5.

Analizando el cálculo de memoria de la situación actual, con la propuesta de cinta transportadora con núcleo de acero, se puede concluir que, si bien las tensiones de trabajo de la cinta ST 1600 serán despreciablemente mayor a las tensiones de la correa nylon nylon, el porcentaje de elongación va a ser un 1,9 % menor al de la cinta nylon nylon, cumpliendo con el objetivo del plan de mejora.

Tabla 4: Comparación de Tensiones de Cintas Transportadoras

Tensiones calculadas	Cinta Nylon Nylon	Cinta ST 1600
Tensión máxima corriendo	311.700 N	312.400 N
Tensión máxima acelerando	359.700 N	360.000 N
Elongación	4 %	2,1 %

Fuente: Memorias de Cálculo de Transmatsol Ingeniería

6.2 Análisis y Comparativa de Costos

Considerando que la falla catastrófica impactó 115,18 horas y el valor de pérdida por una hora de detención en la producción es de 93.200 [US\$], se genera una pérdida de 10.734 [MUS\$] en el año 2023.

Proyectando un beneficio del cambio [80%] se recuperarían para el año 2024, la suma de 8.587 [MUS\$]

Tabla 5: Costos Asociados a la Falla de CV-004

Horas de detención	Costo de hora de detención [US\$]	Costo de detención [MUS\$]	Beneficio del cambio 80 % [MUS\$]
115,18	93.200	10.734	8.587

Fuente: TUM y Costos - Minera Spence

Al analizar los costos de ambas correas transportadoras, la inversión del cambio sería de 10.692 [US\$] y considerando el beneficio que se obtendría para el año 2024 de 8.587 [MUS\$] es rentable realizar el cambio.

Tabla 6: Costos de Correa Actual y Propuesta de Correa

	Correa actual de tela	Propuesta de correa
Marca	Bridgestone	Continental
Características	NF 1800/5	ST 1600 16/6
Precio por metro requerido	280,72	296,92
Metros requeridos	598	598
Precio total [US]	167.858	177.558
Rollos requeridos	2 x 330 metros	2 x 330
Precio por rollo [US]	185.275	195.967

Fuente: Memorias de Cálculo de Transmatsol Ingeniería

CAPITULO VII

BENEFICIOS DEL PLAN DE MEJORAR EN LA CV-004

Entre las pérdidas derivadas de las llamas, se encuentran los largos periodos de paradas que afectan significativamente la productividad de la empresa, resultando en demoras, daños y costos en el corto, mediano y largo plazo, sin embargo y lo que es vital para cumplir con los KPI globales y las aspiraciones de la compañía es cuidar de la integridad de las personas.

Es por esta razón que se realiza un análisis de los beneficios que trae consigo implementar un plan de mejora en la correa transportadora CV-004.

7.1 Seguridad

Las fallas catastróficas en las correas transportadoras, como cortes de cinta o incendio de ellas generan un impacto negativo en la seguridad de todas las personas que transitan por el sector o que estén ejecutando alguna tarea de inspección.

La CV-004 es una correa transportadora que, dentro de sus características, tiene una elevación de 26,9 metros, lo que genera un aumento del movimiento del calor, humo y propagación de la llama y además está cubierta de cúpulas, lo que dificulta aún más la extinción manual del fuego.

Los daños causados por los incendios son irreparables, ocasionando daños, incapacidades e incluso la muerte.

Minera Spence mantiene una política de seguridad estricta y con una aspiración de cero daños al medio ambiente, a los equipos y las personas, lo que posiciona la seguridad en primer lugar y en segundo la producción.

7.2 Confiabilidad del Equipo Transportador CV-004

Considerando un periodo de seis meses de las fallas asociadas a la correa transportadora CV-004 se realiza un estudio de la confiabilidad del equipo y se realiza una comparativa que evidencia el impacto de la falla catastrófica en este KPI.

7.2.1 Confiabilidad en el Mes de Septiembre

Tabla 7: Historial de Fallas en Correa CV-004 de Septiembre de 2022

Fecha	Horas de detención	Área	Descripción de falla
05-09-2022	0,35	Mecánico	Falla estructural
17-09-2022	2,00	Mecánico	Falla acoplamiento
17-09-2022	9,43	Mecánico	Falla acoplamiento
18-09-2022	0,30	Ejecución	Activación de pullcord
19-09-2022	0,47	Mecánico	Falla estructural
21-09-2022	0,47	Mecánico	Detención para inspección
23-09-2022	2,37	Mecánico	Extensión de mantenimiento
28-09-2022	0,85	Ejecución	Activación sensor de nivel
28-09-2022	0,52	Mecánico	Falla de polines centradores de carga
Total horas de detención	12		
Horas detención mantenimiento	10,85		

Fuente: TUM - Minera Spence

Confiabilidad

$$\frac{T - Tf}{T} \times 100 = \frac{720 \text{ horas} - 10,85 \text{ horas}}{720 \text{ horas}} \times 100 = 98,49\%$$

7.2.2 Confiabilidad en el Mes de Octubre

Tabla 8: Historial de Fallas en Correa CV-004 de Octubre de 2022

Fecha	Horas de detención	Área	Descripción de falla
04-10-2022	0,37	Ejecución	Activación sensor de desalineamiento
04-10-2022	0,62	Ejecución	Activación de pullcord por material
06-10-2022	0,60	Ejecución	Activación de pullcord por material
06-10-2022	0,23	Ejecución	Activación límite de carrera
06-10-2022	0,37	Ejecución	Activación límite de carrera
07-10-2022	9,25	Ejecución	Sobrecarga del equipo
08-10-2022	1,03	Mecánico	Falla de polines de carga
08-10-2022	0,58	Ejecución	Activación de sensor de atollo
09-10-2022	0,82	Mecánico	Falla de cinta transportadora
14-10-2022	1,17	Mecánico	Falla de polines de carga
22-10-2022	0,32	Ejecución	Activación sensor de nivel
23-10-2022	0,07	Eléctrico	Lazo de control
23-10-2022	0,73	Eléctrico	Lazo de control
23-10-2022	0,53	Ejecución	Activación de límite de carrera
Total horas de detención	16,68		
Horas detención mantenimiento	3,81		

Fuente: TUM - Minera Spence

Confiabilidad

$$\frac{T - Tf}{T} \times 100 = \frac{744 \text{ horas} - 3,81 \text{ horas}}{744 \text{ horas}} \times 100 = 99,48 \%$$

7.2.3 Confiabilidad en el Mes de Noviembre

Tabla 9: Historial de Fallas en Correa CV-004 de Noviembre de 2022

Fecha	Horas de detención	Área	Descripción de falla
16-11-2022	0,22	Ejecución	Activación de pullcord por material
16-11-2022	1,32	Mecánico	Desalineamiento de cinta
17-11-2022	2,00	Mecánico	Desalineamiento de cinta
18-11-2022	1,28	Mecánico	Desalineamiento de cinta
29-11-2022	0,15	Ejecución	Activación de pullcord por material
Total horas de detención	4,97		
Horas detención mantenimiento	4,6		

Fuente: TUM - Minera Spence

Confiabilidad

$$\frac{T - Tf}{T} \times 100 = \frac{720 \text{ horas} - 4,6 \text{ horas}}{720 \text{ horas}} \times 100 = 99,36\%$$

7.2.4 Confiabilidad en el Mes de Diciembre

Tabla 10: Historial de Fallas en Correa CV-004 de Diciembre de 2022

Fecha	Horas de detención	Área	Descripción de falla
01-12-2022	0,37	Ejecución	Activación sensor de nivel
03-12-2022	0,95	Mecánico	Falla de polines de retorno
09-12-2022	0,48	Ejecución	Activación sensor de nivel

27-12-2022	0,98	Mecánico	Falla de polines centradores de carga
31-12-2022	0,28	Mecánico	Falla de cinta transportadora
31-12-2022	0,35	Mecánico	Falla de cinta transportadora
Total horas de detención	3,42		
Horas detención mantenimiento	2,57		

Fuente: TUM - Minera Spence

Confiabilidad

$$\frac{T - Tf}{T} \times 100 = \frac{744 \text{ horas} - 2,57 \text{ horas}}{744 \text{ horas}} \times 100 = 99,65\%$$

7.2.5 Confiabilidad en el Mes de Enero

Tabla 11: Historial de Fallas en Correa CV-004 de Enero de 2023

Fecha	Horas de detención	Área	Descripción de falla
07-01-2023	0,73	Mecánico	Daño componente mecánico
08-01-2023	0,17	Ejecución	Activación de pullcord por material
08-01-2023	0,92	Mecánico	Daño estructural
08-01-2023	0,13	Ejecución	Activación sensor de nivel
11-01-2023	0,67	Mecánico	Falla cinta transportadora
15-01-2023	0,55	Ejecución	Activación por sobre corriente
15-01-2023	0,58	Mecánico	Bajo silo
16-01-2023	0,38	Mecánico	Falla de cinta transportadora
18-01-2023	1,05	Mecánico	Daño correa
20-01-2023	0,90	Mecánico	Daño correa

21-01-2023	1,30	Ejecución	Daño correa
24-01-2023	0,47	Mecánico	Activación de pullcord por material
27-01-2023	3,05	Mecánico	Extensión de mantenimiento
27-01-2023	0,22	Mecánico	Falla estructural
28-01-2023	0,75	Mecánico	Detención para inspección
30-01-2023	0,38	Mecánico	Detención para inspección
Total horas de detención	12,25		
Horas detención mantenimiento	10,1		

Fuente: TUM - Minera Spence

Confiabilidad

$$\frac{T - Tf}{T} \times 100 = \frac{744 \text{ horas} - 10,1 \text{ horas}}{744 \text{ horas}} \times 100 = 98,64\%$$

7.2.6 Confiabilidad en el Mes de Febrero

Tabla 12: Historial de Fallas en Correa CV-004 de Febrero de 2023

Fecha	Horas de detención	Área	Descripción de falla
17-02-2023	1,07	Eléctrico	Daño equipo eléctrico
17-02-2023	115,18	Mecánico	Falla cinta transportadora
24-02-2023	0,60	Ejecución	Activación sensor de desalineamiento
24-02-2023	0,10	Ejecución	Activación sensor de desalineamiento
Total horas de detención	116,95		
Horas detención mantenimiento	116,25		

Fuente: TUM - Minera Spence

Confiabilidad

$$\frac{T - Tf}{T} \times 100 = \frac{672 \text{ horas} - 116,25 \text{ horas}}{672 \text{ horas}} \times 100 = 82\%$$

7.2.7 Análisis de Horas Detenidas y Confiabilidad

Considerando las horas de detención en el periodo de seis meses se puede mencionar que en los cinco meses anteriores a la falla catastrófica el promedio de horas detenidas es de 6,38 mensual, sin embargo, el mes de febrero supera el promedio en 109,87 horas, generando un impacto negativo en la producción del área.

Ilustración 21: Gráfica de Horas de Detención por Mes



Fuente: Elaboración Propia

Considerando la confiabilidad en el periodo de seis meses se puede mencionar que en los cinco meses anteriores a la falla catastrófica el promedio de la confiabilidad del equipo es de 97,9 % mensual, sin embargo, el mes de febrero de 2023 baja considerablemente en un 15,7%

Ilustración 22: Gráfica de Confiabilidad por Mes, entre Septiembre de 2022 y Febrero de 2023



Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO VIII

PROCEDIMIENTO DE CAMBIO DE CINTA TRANSPORTADORA

El procedimiento de cambio de cinta transportadora tiene como objetivo estandarizar las diversas actividades y/o trabajos que se han de ejecutar para el Cambio de Correas Transportadoras en Minera Spence, mejorando la actividad y minimizando los riesgos existentes, evitando pérdidas o mal manejo de las operaciones, optimizando la Calidad en todas las actividades que se deban realizar y contribuyendo de manera eficiente en el manejo de los Residuos generados por las diversas actividades, lo cual producirá un Mejoramiento Continuo en el Medio Ambiente.

8.1 Requerimiento de Personal

Para la realización del cambio de correa transportadora y de todas sus actividades se deberá adjuntar cada vez la nómina del personal destinado a la actividad, en ERT (Evaluación de Riesgos de la Tarea), IS (Instructivos de Seguridad de los controles críticos que aplican) y PT (Permiso de Trabajo) conforme a programación. Sin perjuicio de lo anterior siempre se deberá contar con:

- Supervisor de Terreno encargado de la actividad.
- Maestro Líder Vulcanizador.
- Maestros Vulcanizadores.
- Ayudante Vulcanizador.
- Eléctrico Vulcanizador.
- Chofer Operador.
- Asesor HSE

8.2 Elementos de Protección Personal

- Casco de Seguridad.
- Lentes de Seguridad.

- Careta Facial.
- Zapatos de Seguridad.
- Buzo Tipo Piloto.
- Guantes de Cabritilla Forrados.
- Guante Anticorte de Malla Acero.
- Pechera Anticorte de Kevlar.
- Muslera Anticorte.
- Respirador de 02 Vías con Filtros Mixtos 3M 60923.
- Radio Portátil.
- Detector de HCl.

8.3 Materiales y Equipos de Trabajo

- **Prensa vulcanizadoras.**
- **Generador eléctrico.**
- **Tablero eléctrico.**
- **Cemento vulcanizador**
- **Kit de empalme**
- **Tallarín para vulcanizado.**
- **Papel para vulcanizado.**
- **Brochas.**
- **Yugo de Levante y eslingas.**
- **Tecles de palanca o de cadena de 3.5 ton de capacidad.**
- **Herramientas Manuales Menores y Mayores.**
- **Camión Pluma.**
- **Equipos para vulcanizado (rieles, bolsas de presión, placas calefactoras, bombas de agua, controlador eléctrico, manómetro, termocuplas, datalogger, pernos, seguros tipo L).**

8.4 Requerimientos Mecánicos

- Bloqueo independiente equipo transportador
- Equipo de tiro, excavadora.
- Destensar equipo transportador
- Definir zona de trabajo, la cual este claramente señalizada.
- Realizar aseo en zona de trabajo, definir layout.
- Realizar desconexión red de incendios.
- Deshabilitar supresores (Colector de polvo)
- Desaplicar limpiadores primarios, secundario y vplow.
- Desaplicar en sector chute, placas y guarderas, para evitar daños superficiales en entrada de cinta nueva.
- Solicitar a líder mantenimiento Spence realizar montaje de camas de andamios en zona de trabajo de empalme. Estas se deben instalar en ambos costados de equipo transportador.
- Instalar polines velas en costado izquierdo del equipo, para salida y entrada de cinta.
- Solicitar apoyo a mantenimiento soldador mecánico, presente en actividad paso de cinta, en el caso de que polines velas presenten fallas.

8.5 Procedimiento de Cambio de Correa Transportadora

Todo personal que realice las actividades operacionales de cambio y empalme de alma o núcleo de cable, sin excepción deberá estar autorizados y entrenados.

Las actividades operacionales de cambio y empalme en correa transportadora de cable en Minera Spence que se realizarán en el área, son:

1. Coordinaciones preliminares

2. Análisis y llenado de ERT e instructivos de seguridad que aplican al trabajo: Liberación descontrolada de energía, atrapamiento/aplastamiento, contacto con sustancias peligrosas, contacto eléctrico, impacto equipo móvil, procedimiento específico, accidente en ruta, check list paso de cinta y de todos los equipos y herramientas y PT en caso de que exista alguna otra empresa trabajando en el mismo sector o que nos preste apoyo.
3. Mantener en terreno Diphoterine, producto que ha de ser utilizado para el lavado de la superficie cutánea en caso de una emergencia con ácido por parte de cualquiera de nuestros trabajadores.
4. Demarcación área de trabajo (cadenas plásticas de peligro, conos y letreros de advertencia e identificación supervisión – HSE encargado de la actividad).
5. Bloqueo del sistema eléctrico del equipo transportador.
6. Destensado de correa a intervenir.
7. Traslado y distribución de equipos y herramientas al punto de trabajo.
8. Identificación de acceso al punto de trabajo en el sector zona de trabajo de empalme.
9. Demarcación área de trabajo. Se deberá segregarse el área utilizando letrero de advertencia, conos de seguridad y cadenas plásticas sin dejar espacios abiertos.
10. Los equipos y herramientas en el punto de trabajo deberán estar segregados con cadenas plásticas y conos de seguridad. Equipos como el generador de corriente, luminarias, equipos autógenos deberán estar aterrizados y contar en terreno con un Extintor de Polvo Químico Seco (PQS) de 10 Kilos vigente.
11. Realizar retiro de cupulas en sector zona de empalme o zona de trabajo.
12. Instalar prensas mecánicas por cubierta de carga, instaladas a los extremos de la zona de empalme.
13. Realizar corte de cinta saliente en sector zona de trabajo usando guantes de malla de acero y pechera anticorte.
14. Realizar unión o empalme mecánico (Definir maniobra)
15. Realizar desbloqueo de personal ajeno a actividad, desbloqueo de contra peso y equipo transportador.
16. Realizar retiro de ambas prensas mecánicas.

17. Debe existir una buena comunicación y coordinación con operador equipo de apoyo (Excavadora) donde se hablen los riesgos presentes en la actividad, medidas de control, doble segregación, mantener distancia considerable de los equipos de tiro, realizar parqueos de maquina antes de cada maniobra a realizar o cambiar.
18. Con respecto a la comunicación, se deberá designar una frecuencia radial de trabajo entre ambos equipos presentes en actividad, personal Continental y operadores de equipos apoyo. Además, se deberá designar a un integrante de nuestro equipo que permanezca en la frecuencia radial de área de chancado.
19. Instalar maniobra de tiro entre excavadora y cinta saliente.
20. Tener personal Continental distribuido en todas las partes móviles de la cinta (zona motriz, polea de cola, polea de cabeza sector placas y empalme mecánico) y todo elemento móvil que involucre a la cinta.
21. Dar aviso mediante frecuencia radial, a todo el personal que se encuentre involucrado directa o indirectamente en la cinta, que se debe retirar del área. Además de pedir apoyo a líder mantenimiento y operaciones de Minera Spence, que apoyen en este requerimiento, de esta forma tener la información confirmada de que no existe ningún personal ajeno a la actividad en el área de trabajo.
22. Una vez realizada esta actividad se procede al paso de la cinta transportadora.
23. Iniciar paso de cinta con equipo de tiro tomar distancia en el ingreso de la cinta y tener una comunicación constante con el operador de equipo de apoyo en frecuencia maniobra de tiro en todo momento.
24. Realizar seguimiento al empalme mecánico.
25. Una vez finalizado el paso de cinta, instalar prensas mecánicas una en cada extremo de zona de trabajo.
26. Solicitar bloqueo digital de prensas mecánicas.
27. Dar aviso mediante frecuencia radial a todo el personal que puede volver a sus actividades en equipo transportador y alrededores del sector CV- 006.
28. Retiro de estaciones de polines (Preparar zona de empalme).
29. Montaje de cama inferior del equipo vulcanizador.

30. Instalación de bruja cama inferior.
31. Realizar montaje de carpa.
32. Trazado de ambas cubiertas.
33. Retiro de cubiertas y liberación de piolas de acero.
34. Realizar retiro de exceso de gomas en piolas de acero.
35. Realizar raspado de piolas, raspado de bisel utilizando pulidora en velocidad N°2.
36. Aplicación de cemento vulcanizador en ambas puntas.
37. Cubrir ambas puntas con una película de film y polietileno, para evitar contaminación.
38. Presentación y alineación.
39. Instalar papel desmoldante.
40. Instalar kit de retorno (Cojín – caucho)
41. Iniciar proceso de tejido, según diagrama de empalme.
42. Insumos para utilizar en empalme, deben ser según diagrama de empalme.
43. Asegurar correcto relleno de transición.
44. Instalar kit de carga.
45. Instalar papel desmoldante.
46. Instalar marginadoras en ambos cantos, idóneas a espesor de la cinta.
47. Instalación de brujas cubierta superior.
48. Montaje de equipo superior.
49. Ajuste de marginadores (Tecles de palanca)
50. Instalación de pernos vulcanizadores.
51. Instalación de barras de seguridad.
52. Instalación de componentes eléctricos.
53. Realizar proceso de presurizado y prueba de presión, el tiempo de vulcanizado se dará según Data Sheet del fabricante de los productos de la cinta.
54. Proceso de vulcanizado: En el proceso de vulcanizado, el eléctrico vulcanizador, deberá estar empoderado y liderar como única persona este proceso. Deberá mantener el sector totalmente segregado con cadenas plásticas, conos de seguridad y la instalación de letrero visible “NO TOCAR EQUIPO CON

TEMPERATURA”. Nadie deberá ingresar a este proceso sin la autorización del eléctrico vulcanizador. Para mantenerse lejos del proceso de vulcanizado y no estar expuesto a una liberación imprevista de agua caliente, el eléctrico vulcanizador deberá estar no menos de 4 metros del proceso y los equipos controladores deberán tener termocuplas de longitud mayor a aquella distancia de separación.

55. Eléctrico Vulcanizador deberá usar responsablemente calzado de seguridad y guantes dieléctricos al manipular el equipo controlador, generador eléctrico, tablero y extensiones eléctricas.
56. Deberá hacer uso de ropa de cuero para estar protegido ante una eventual fuga de agua o de vapor desde las placas calefactoras cuando comience el proceso de enfriado.
57. Enfriado y descenso de Presión y Temperatura en Equipo Vulcanizador inyectando agua fría a las placas calefactoras.
58. Inyección de Presión y Temperatura a Equipo Vulcanizador en forma pareja y en intervalos de tiempo.
59. El tiempo y presión de vulcanizado se dará según el Data Sheet del fabricante de la cinta.
60. Proceso de enfriado de equipo vulcanizador.
61. Despresurizado del equipo.
62. Termino de vulcanizado.
63. Desmontaje de equipo vulcanizador.
64. Disponer de camión pluma y operador, en caso de que sea necesario para el desmontaje de equipo vulcanizador.
65. Retiro de prensas.
66. Normalizar zona de trabajo.
67. Realizar housekeeping zona de trabajo, buen manejo de residuos.
68. Realizar desbloqueo de equipo transportador.

CONCLUSIONES

Una vez identificada y analizada la falla catastrófica generada en la correa transportadora CV-004 se determina que, de las soluciones necesarias para evitar este tipo de eventos, el cambio de características de la cinta es fundamental para controlar la repetitividad de ésta.

Al estudiar la propuesta de mejora en la correa transportadora CV-004 se determina que el cambio de núcleo de la cinta transportadora de nylon por una de acero disminuye su elongación en un 1,9 %, lo que evita que se generen daños por resbalamiento y deslizamiento de la polea con la correa transportadora y en consecuencia fallas catastróficas.

Al realizar una comparativa de los costos generados por el cambio de cinta transportadora, se valida la rentabilidad de la mejora, ya que la inversión a realizar es de 10.692 [US\$] y el impacto monetario producido por las 115,18 horas de detención en la producción de la planta es de 10.734 [MUS\$] que se dejaron de percibir en el año 2023 y considerando un beneficio del 80 % al implementar la mejora sería de un aumento en las ganancias de 8.587 [US\$] para el año 2024.

La confiabilidad del equipo como indicador clave de desempeño para el área de mantenimiento bajó en un 15,7% respecto al análisis realizado durante cinco meses antes de la falla de 115,18 horas; implementando el plan de mejora se aspira a alcanzar la confiabilidad promedio del equipo de un 97,9%.

En lo que respecta a la seguridad de los trabajadores que desempeñan sus labores en el área no se puede valorizar. Las personas, el capital intelectual, es el activo más importante de una empresa, por lo que se debe resguardar independiente a los costos o inversiones que se deban generar.

Por lo tanto, el plan de mejora en la CV-004 trae beneficios de seguridad para las personas y equipos. Aumenta los indicadores claves de producción aumentando las ganancias para los años de vida de la planta área seca y a una baja inversión.

BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS

Aravena, S. (2023). *Análisis de Falla de Correa 35-CV-004 por evento de incendio*. Antofagasta.

Bridgestone. (2017). *DATA SHET CONVERYOR BELT FOR SPENCE* . TOKIO.

Cátodos, G. (2022-2023). *TUM*. Sierra Gorda, Antofagasta - Chile.

CEIM. (s.f.). *Correas transportadoras - Centro de entrenamiento industrial y minero*. Antofagasta, Chile.

Ingeniería, T. (2023). *Informe de estudio de equipo transportador 35 CV 004* .

GLOSARIO

Núcleo:

El núcleo de la correa transportadora es la carcasa que define las principales características de rendimiento de la cinta. EL refuerzo combinado, tejido textil o cable de acero y capa delgada de caucho que se encuentra dentro de una correa transportadora y que le da a la cinta características mecánicas tales como resistencia a la tracción y elongación.

Norma DIN 22101:

Se requiere que las cintas transportadoras soporten una variedad de cualidades, desde resistencia a daños por desgaste e impacto hasta la resistencia al ozono y radiación ultravioleta. Con esos requerimientos llega una gama casi abrumadora de métodos de prueba y normas de calidad aplicada a cada requerimiento individual.

La norma DIN desarrolla normas y estándares como un servicio a la industria alemana y son una organización sin lucro muy respetada con sede en Berlín desde 1917. Numerosos estándares DIN se han convertido en estándares ISO.

DIN 22101 es la norma que se utiliza en las cintas transportadoras para materiales a granel, bases de cálculo y dimensionamiento de forma certificada.

Confiabilidad:

Es el porcentaje o probabilidad del correcto funcionamiento, dentro de un periodo de tiempo determinado, de las máquinas o sistemas incluidas en la cadena de producción.

Para calcular la confiabilidad se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{T - Tf}{T} \times 100$$

Donde:

T: Total horas del mes

Tf: Total horas de falla