



**UNIVERSIDAD DE TALCA**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL DE MINAS

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A  
CINTAS TRANSPORTADORAS PARA OPTIMIZAR LAS FALLAS Y  
SU DISPONIBILIDAD EN EL PROCESO MINERO EN MINA  
CHÉPICA.**

“MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO(A) CIVIL DE MINAS”

**Giovanni Alejandro Riveros Arcos**

PROFESOR GUÍA

Sr. Francisco Fuentes Salcedo

MIEMBROS DE LA COMISIÓN

Co-guia: Mg. Francisco Rivas Saldaña

Integrante: Mg. Carlos Moraga Cruz

CURICÓ, CHILE  
2021

## CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su encargado Biblioteca Campus Curicó certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Two circular stamps and signatures. The left stamp is blue and reads "UNIVERSIDAD DE TALCA DIRECCIÓN SISTEMA DE BIBLIOTECAS" with a signature over it. The right stamp is grey and reads "UNIVERSIDAD DE TALCA SISTEMA DE BIBLIOTECAS CAMPUS CURICO" with a signature over it.

Curicó, 2022

## RESUMEN

Los planes de mantenimiento son de vital importancia en el rubro industrial-minero debido a que se trabaja con una gran variedad de equipos, líneas de producción, entre otros. El propósito de estos planes es evitar detenciones no programadas (fallas) en el proceso productivo por medio de revisiones periódicas a componentes críticos, aumentar la disponibilidad de los equipos y aumentar la vida útil de estos. El objetivo de este trabajo es diseñar un plan de mantenimiento preventivo aplicado a las líneas de cintas transportadoras (1A, 1B, 2, 3, 4, 5, 6, 7, y 8) que son utilizadas en la planta de conminución de la Mina Chépica ubicada en la comuna de Penciahue, Región del Maule. A cada una de estas líneas se les hizo un levantamiento de información asociado a las detenciones no programadas que éstas presenten durante el periodo de estudio que constó de 11 meses. Este levantamiento de información estuvo comandado por el personal encargado del área de mantenimiento de la mina por medio de una bitácora o acta de actividades y una planilla de registros operacionales que considera: equipo en detención, tiempo empleado en cada detención, descripción de la falla, mano de obra, entre otros. En base a lo anterior se hizo una categorización de los componentes y fallas de las cintas transportadoras (resultando 261 fallas totales) con el fin de analizar cuáles son las de mayor criticidad utilizando el método de Pareto, que tiene como objetivo organizar y clasificar los componentes de mayor a menor frecuencia de falla en una gráfica, resultando dos cintas ser las más críticas: cinta 8 con 34 detenciones y cinta 1A con 33 detenciones. Posteriormente, en base a los datos obtenidos del levantamiento de información se calculó la disponibilidad mensual de cada cinta en base al tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio entre reparación (MTTR), resultando que todos los meses superaron el umbral mínimo de 85% de disponibilidad, lo que es un buen resultado, pero con el plan de mantenimiento estos valores subirán aún más debido a que hubo valores cercanos al umbral.

Además, a las cintas más críticas se les realizó un análisis de modos y efectos de falla (AMEF) herramienta para lograr mejorar las acciones del mantenimiento mediante un análisis formalizado para la identificación sistemática de posibles causas de riesgo y emisión de acciones de recomendación tendientes a minimizar el mismo, considerando métricas (puntuadas de 1 a 10) en gravedad, ocurrencia y detección que multiplicadas dan como resultado un número de prioridad de riesgo (NPR). Si el valor es mayor a 80 se considera de alto riesgo. Considerando lo anterior para ambas cintas resultó el mismo modo de falla de alto riesgo "Botonera de emergencia" con un NPR de **125**. Al realizar el AMEF facilita el diseño del plan de mantenimiento preventivo que se basa en las fallas principales considerando sus modos y efectos. De esta forma se organizaron labores programadas de mantenimiento e inspecciones visuales con una frecuencia establecida en el plan para un óptimo funcionamiento de este y así reducir las detenciones no programadas por ende mayor disponibilidad de los equipos, aumentar la vida útil de los componentes y tener una producción continua. Es de vital importancia tener registros de fallas en una empresa para así organizar y realizar mantenciones óptimas lo que facilita la toma de decisiones en el área de mantenimiento de la empresa.

**Palabras clave:** Mantenimiento, fallas, disponibilidad, criticidad y optimizar.

# ABSTRACT

Maintenance plans are of vital importance in the industrial-mining industry due to the wide variety of equipment, production lines, among others. The purpose of these plans is to avoid unscheduled stoppages (failures) in the production process by means of periodic revisions to critical components, increase the availability of the equipment and increase their useful life. The objective of this work is to design a preventive maintenance plan applied to the conveyor belt lines (1A,1B,2,3,4,5,6,7, and 8) used in the comminution plant of the Chépica Mine located in Penciahue, Maule Region. Each of these lines underwent a survey of information associated with unscheduled stoppages during the study period, which consisted of 11 months. This information gathering was commanded by the personnel in charge of the mine's maintenance area by means of a logbook or activity report and an operational record sheet that considers: Based on the above, a categorization of the components and failures of the conveyor belts was made (resulting in 261 total failures) in order to analyze which are the most critical using the Pareto method, which aims to organize and classify the components from highest to lowest frequency of failure in a graph, resulting in two belts being the most critical: belt 8 with 34 detentions and belt 1A with 33 detentions. Subsequently, based on the data obtained from the data collection, the monthly availability of each belt was calculated based on the mean time between failures (MTBF) and the mean time between repair (MTTR), resulting that all months exceeded the minimum threshold of 85% availability, which is a good result, but with the maintenance plan these values will increase even more because there were values close to the threshold.

In addition, a failure modes and effects analysis (FMEA) were performed on the most critical tapes, a tool to improve maintenance actions through a formalized analysis for the systematic identification of possible causes of risk and the issuance of recommendation actions to minimize it, considering metrics (scored from 1 to 10) in severity, occurrence and detection, which multiplied result in a risk priority number (RPN). If the value is greater than 80, it is considered high risk. Considering the above for both belts, the same high-risk failure mode "Emergency pushbutton panel" with an NPR of 125 was the result. In this way, scheduled maintenance tasks and visual inspections were organized with a frequency established in the plan for optimal operation of the plan, thus reducing unscheduled stoppages, increasing equipment availability, increasing the useful life of the components and ensuring continuous production. It is of vital importance to have records of failures in a company in order to organize and perform optimal maintenance, which facilitates decision making in the maintenance area of the company.

**Key words:** Maintenance, failures, availability, criticality and optimize.

## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.	Antecedentes y motivaciones.....	1
1.2.	Descripción del problema.....	2
2.	OBJETIVOS Y ALCANCES .....	4
2.1	Objetivo General.....	4
2.2	Objetivos específicos.....	4
2.3	Alcances .....	4
3.	ANTECEDENTES DE LA EMPRESA .....	5
3.1	Descripción de la faena .....	5
4.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	7
4.1	Descripción de las cintas transportadoras y sus componentes .....	7
4.1.1	Cintas transportadoras .....	7
4.1.2	Componentes.....	8
4.2	Teoría del Mantenimiento .....	14
4.2.1	Tipos de mantenimientos .....	15
4.3	Plan de mantenimiento .....	16
4.4	Análisis de datos.....	17
4.5	Análisis de criticidad (Pareto) .....	17
4.6	Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF).....	19
4.7	Disponibilidad .....	23
4.7.1	Cálculo de disponibilidad.....	23
5.	METODOLOGÍA .....	25
5.1	Caracterización del equipo y sus componentes.....	25
5.2	Registros operacionales .....	25

5.3	Análisis de datos.....	25
5.4	Análisis de resultados.....	26
6.	DESARROLLO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	27
6.1	Caracterización de las cintas transportadoras .....	27
6.1.1	Cinta 1A .....	27
6.1.2	Cinta 1B .....	28
6.1.3	Cinta 2.....	28
6.1.4	Cinta 3.....	29
6.1.5	Cinta 4.....	29
6.1.6	Cinta 5.....	30
6.1.7	Cinta 6.....	30
6.1.8	Cinta 7.....	31
6.1.9	Cinta 8.....	31
6.2	Análisis general de fallas de Cintas transportadoras .....	32
6.3	Análisis de criticidad (Diagrama de Pareto) .....	34
6.3.1	Análisis de criticidad cinta transportadora 1A.....	34
6.3.2	Análisis de criticidad cinta transportadora 1B.....	37
6.3.3	Análisis de criticidad cinta transportadora 2 .....	39
6.3.4	Análisis de criticidad cinta transportadora 3 .....	40
6.3.5	Análisis de criticidad cinta transportadora 4 .....	42
6.3.6	Análisis de criticidad cinta transportadora 5 .....	44
6.3.7	Análisis de criticidad cinta transportadora 6 .....	45
6.3.8	Análisis de criticidad cinta transportadora 7 .....	48
6.3.9	Análisis de criticidad cinta transportadora 8 .....	50
6.4	Disponibilidad de las cintas transportadoras.....	53

6.4.1	Resumen cálculo disponibilidad cinta 1A.....	54
6.4.2	Resumen cálculo disponibilidad cinta 1B.....	56
6.4.3	Resumen cálculo disponibilidad cinta 2 .....	56
6.4.4	Resumen cálculo disponibilidad cinta 3 .....	57
6.4.5	Resumen cálculo disponibilidad cinta 4 .....	58
6.4.6	Resumen cálculo disponibilidad cinta 5 .....	59
6.4.7	Resumen cálculo disponibilidad cinta 6 .....	60
6.4.8	Resumen cálculo disponibilidad cinta 7 .....	60
6.4.9	Resumen cálculo disponibilidad cinta 8 .....	61
6.5	Análisis de modos y efectos de falla (AMEF) .....	63
6.5.1	AMEF cinta 8 .....	63
6.5.2	AMEF cinta 1A.....	67
6.5.3	Resultados AMEF Cintas 8 y 1A.....	70
6.6	Diseño plan de mantenimiento preventivo .....	72
6.6.1	Actividades aplicadas al mantenimiento de las cintas .....	72
6.6.2	Desarrollo del plan de mantenimiento preventivo .....	75
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	81
8.	REFERENCIAS.....	83
9.	ANEXOS .....	85

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Escala de Gravedad (Bestratén Belloví, Orriols Ramos, & Mata París, 2004) .....	21
Tabla 2: Escala de Ocurrencia (Bestratén Belloví, Orriols Ramos, & Mata París, 2004) .....	21
Tabla 3: Escala de Detección (Bestratén Belloví, Orriols Ramos, & Mata París, 2004) .....	22
Tabla 4: Formato AMEF con ejemplo. Fuente: elaboración propia .....	22
Tabla 5: Datos técnicos cinta 1A (Montero Muñoz & Stavros González, 2012) ....	27
Tabla 6: Datos técnicos cinta 1B (Montero Muñoz & Stavros González, 2012) ....	28
Tabla 7: Datos técnicos cinta 2 (Montero Muñoz & Stavros González, 2012).....	28
Tabla 8: Datos técnicos cinta 3 (Montero Muñoz & Stavros González, 2012).....	29
Tabla 9: Datos técnicos cinta 4 (Montero Muñoz & Stavros González, 2012).....	29
Tabla 10: Datos técnicos cinta 5 (Montero Muñoz & Stavros González, 2012).....	30
Tabla 11: Datos técnicos cinta 6 (Montero Muñoz & Stavros González, 2012).....	30
Tabla 12: Datos técnicos cinta 7 (Montero Muñoz & Stavros González, 2012).....	31
Tabla 13: Datos técnicos cinta 8 (Montero Muñoz & Stavros González, 2012).....	31
Tabla 14: Resumen historial de fallas. (Elaboración propia) .....	32
Tabla 15: Resumen de fallas cinta 1A. (Elaboración propia).....	34
Tabla 16: Resumen de fallas cinta 1B. (Elaboración propia).....	37
Tabla 17: Resumen de fallas cinta 2. (Elaboración propia) .....	39
Tabla 18: Resumen de fallas cinta 3. (Elaboración propia) .....	41
Tabla 19: Resumen de fallas cinta 4. (Elaboración propia) .....	42
Tabla 20: Resumen de fallas cinta 5. (Elaboración propia) .....	44
Tabla 21: Resumen de fallas cinta 6. (Elaboración propia) .....	46
Tabla 22: Resumen de fallas cinta 7. (Elaboración propia) .....	48
Tabla 23: Resumen de fallas cinta 8. (Elaboración propia) .....	50
Tabla 24: Cintas críticas según análisis de criticidad. (Elaboración propia) .....	53
Tabla 25: Resumen disponibilidad mensual cinta 1A. (Elaboración propia) .....	55
Tabla 26: Resumen disponibilidad mensual cinta 1B. (Elaboración propia) .....	56



Tabla 27: Resumen disponibilidad mensual cinta 2. (Elaboración propia) .....	57
Tabla 28: Resumen disponibilidad mensual cinta 3. (Elaboración propia) .....	57
Tabla 29: Resumen disponibilidad mensual cinta 4. (Elaboración propia) .....	58
Tabla 30: Resumen disponibilidad mensual cinta 5. (Elaboración propia) .....	59
Tabla 31: Resumen disponibilidad mensual cinta 6. (Elaboración propia) .....	60
Tabla 32: Resumen disponibilidad mensual cinta 7. (Elaboración propia) .....	61
Tabla 33: Resumen disponibilidad mensual cinta 8. (Elaboración propia) .....	62
Tabla 34: Componentes cinta 8. (Elaboración propia) .....	65
Tabla 35: Componentes cinta 1A. (Elaboración propia) .....	69
Tabla 36: Resumen modos de falla cintas 8 y 1A. (Elaboración propia) .....	70
Tabla 37: Programa de mantenciones preventivas. (Elaboración propia) .....	77
Tabla 38: Planilla de registro de labores de mantenimiento. (Elaboración propia)	78
Tabla 39: Pauta chequeo previo al arranque. (Elaboración propia) .....	79
Tabla 40: Pauta chequeo en operación. (Elaboración propia).....	79
Tabla 41: historial de falla cinta 1A. Fuente: elaboración propia .....	86
Tabla 42: Historial de falla cinta 1B. (Elaboración propia) .....	87
Tabla 43: Historial de fallas cinta 2. (Elaboración propia) .....	88
Tabla 44: Historial de fallas cinta 3. (Elaboración propia) .....	89
Tabla 45: Historial de fallas cinta 4. (Elaboración propia) .....	90
Tabla 46: Historial de fallas cinta 5. (Elaboración propia) .....	91
Tabla 47: Historial de fallas cinta 6. (Elaboración propia) .....	92
Tabla 48: Historial de fallas cinta 7. (Elaboración propia) .....	93
Tabla 49: Historial de fallas cinta 8. (Elaboración propia) .....	94
Tabla 50: Resultados análisis de modos y efectos de falla cinta 8. (Elaboración propia) .....	95
Tabla 51: Resultados análisis de modos y efectos de falla cinta 1A. (Elaboración propia) .....	95

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación Proyecto Chépica (rectángulo rojo). Flanco oriental Cordillera de la Costa. (Gattas Beher & Rivas Saldana, 2020) .....	1
Figura 2: Mapa de ubicación y accesos a Mina Chépica. (Gattas Beher & Rivas Saldaña, 2020) .....	5
Figura 3: Componentes cinta transportadora. (Silva Sanhueza, 2017) .....	8
Figura 4: Partes de un polín. (Silva Sanhueza, 2017) .....	9
Figura 5: Partes de una polea. (Silva Sanhueza, 2017) .....	11
Figura 6: Partes de un rodamiento. (Silva Sanhueza, 2017) .....	12
Figura 7: Módulo estructural cinta. (Ruíz Ortiz, 2015) .....	13
Figura 8: Chute de traspaso. (Chipoco, 2016) .....	13
Figura 9: Guarderas laterales. (S.A, s.f.) .....	14
Figura 10: Diagrama de Pareto. (Elaboración propia) .....	18
Figura 11: Gráfica de la totalidad de las fallas. (Elaboración propia) .....	33
Figura 12: Gráfica de Pareto cinta 1A. (Elaboración propia) .....	35
Figura 13: Gráfica de Pareto cinta 1B. (Elaboración propia) .....	38
Figura 14: Gráfica de Pareto cinta 2. (Elaboración propia) .....	40
Figura 15: Gráfica de Pareto cinta 3. (Elaboración propia) .....	41
Figura 16: Gráfica de Pareto cinta 4. (Elaboración propia) .....	43
Figura 17: Gráfica de Pareto cinta 5. (Elaboración propia) .....	45
Figura 18: Gráfica de Pareto cinta 6. (Elaboración propia) .....	47
Figura 19: Gráfica de Pareto cinta 7. (Elaboración propia) .....	49
Figura 20: Gráfica de Pareto cinta 8. (Elaboración propia) .....	51
Figura 21: Cinta 8 vista lateral. (Elaboración propia) .....	64
Figura 22: Cinta 8 vista frontal. (Elaboración propia) .....	65
Figura 23: Vista frontal cinta 1A. (Elaboración propia) .....	68
Figura 24: Carcasa de botonera de emergencia. (FreepikCompany, 2020) .....	71

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Antecedentes y motivaciones

Este estudio se centra en la elaboración de un plan de mantenimiento preventivo a nueve cintas transportadoras (1A,1B,2,3,4,5,6, 7 y 8) para optimizar las fallas y aumentar la disponibilidad del equipo. Los equipos son pertenecientes a las dependencias de la Mina Paicaví S.A. “Proyecto Chépica”.

El proyecto se ubica en la Región del Maule a 270 km al sur de Santiago en el borde oriental de la Cordillera de la Costa, 5 km al oeste de la Comuna de Pencahue y 25 km de Talca (Gattas Beher & Rivas Saldaña, 2020)

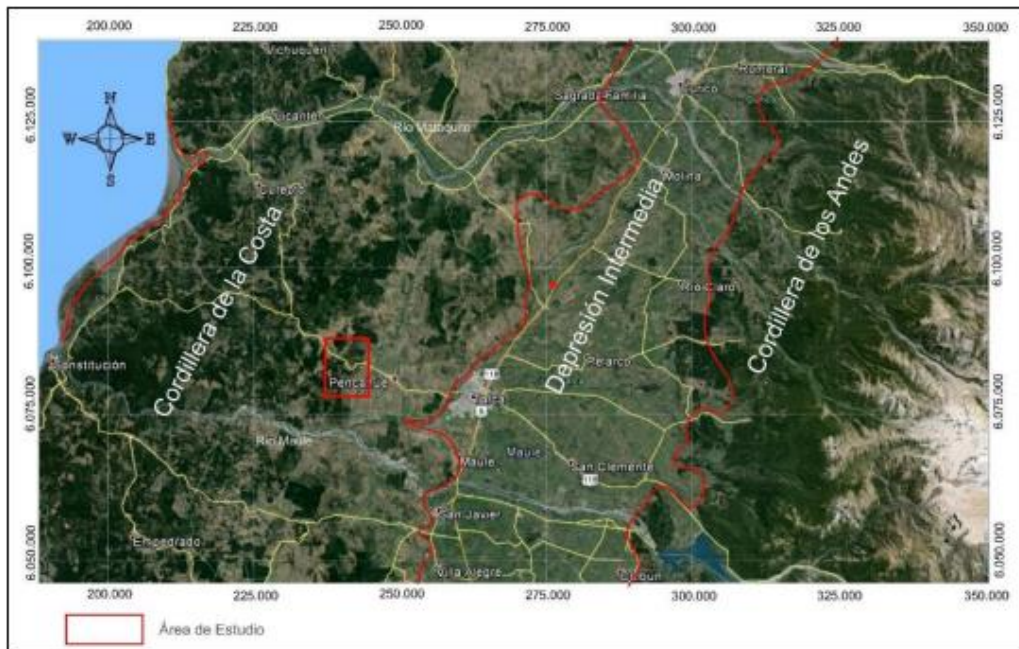


Figura 1: Ubicación Proyecto Chépica (rectángulo rojo). Flanco oriental Cordillera de la Costa. (Gattas Beher & Rivas Saldana, 2020)

La motivación para desarrollar este estudio es debido a que las cintas transportadoras suelen ser expuestas a niveles de esfuerzo considerables al transportar grandes cantidades de material minero lo cual puede ocasionar inminentes fallas y que no se poseen registros operacionales de cuando estas fallan.

Además, según (Montero Muñoz & Stavros González, 2012) quienes investigaron “La formalización y control de tiempos” en Mina Chépica afirman lo siguiente: ***“La formalización de una empresa es un paso importante para el análisis y evaluación de los diferentes procesos que se ejecutarán en ésta. Muchas veces se conocen a la perfección por los entes involucrados en la empresa los procedimientos, así como las maquinarias y sus características, ya sean de capacidad, rendimiento, eficiencia y forma en la cual se encuentran distribuidos, pero el hecho no poseer documentación puede ser una limitante para la toma de decisiones, además la formalización permite visualizar de mejor forma una posible optimización en los proceso o maquinaria en términos de costos, tiempo y alcance”***. En base a lo anterior, situación que sigue igual hasta la actualidad nació la idea de crear registros operacionales y desarrollar un plan de mantenimiento preventivo para evitar acciones no deseadas y mejorar en la toma de decisiones en la compañía.

## 1.2. Descripción del problema

En la minería es fundamental aumentar la productividad, disminuir costos y contribuir a la seguridad de sus trabajadores. Además, es imprescindible encontrar la forma óptima de desarrollar las labores y procesos. Es por ello que una de las herramientas principales para lograr una buena organización y efectividad es por medio de la planificación. La planificación minera es la encargada de definir cuando y como serán extraídos los recursos durante la evaluación de un proyecto, en ese mismo entorno se encuentran los procesos de mantención industrial, los cuales son fundamentales para el buen funcionamiento de la compañía minera (Farfán Bertín, 2014) . En mina Chépica, se suelen realizar mantenciones correctivas al área industrial, es decir, solo cambian o reparan la falla que se presente lo cual a veces es perjudicial para el proceso productivo porque puede presentarse alguna falla en cualquier momento, haciendo que el equipo tenga detenciones en turnos de trabajo, lo cual trae consigo bajas en los niveles productivos, pérdidas económicas significativas o bajas en la disponibilidad del equipo. Es por esto que un plan de

mantenimientos es de vital importancia para evitar sucesos no deseados en los procesos productivos.

Además, cabe mencionar que la etapa de extracción y producción de mineral consta de diversas etapas, las cuales son de gran importancia para llegar a un producto mineral final. La etapa que se enfoca este estudio es la del transporte de mineral asociado al circuito de chancado por medio de correas transportadoras. El estudio de esta memoria se enfocará en elaborar un plan de mantención preventivo a las correas transportadoras (modelo de cintas) que pertenecen a la Compañía Minera Paicaví S.A. "Proyecto Chépica".

Con este trabajo se pretende analizar las fallas que presenten estos equipos para luego, en base a los registros operacionales se determinarán las fallas más recurrentes de las cintas y la disponibilidad que estas presenten con el fin aumentar la disponibilidad del equipo y así diseñar el plan de mantención preventivo.

## 2. OBJETIVOS Y ALCANCES

### 2.1 Objetivo General

- Diseñar un plan de mantenimiento preventivo para cintas transportadoras de la Mina Chépica para evaluar una mejora en la disponibilidad de los equipos por medio de un levantamiento de información, análisis mediante el método de Pareto (criticidad) y análisis de modos y efectos de falla.

### 2.2 Objetivos específicos

- Realizar levantamiento de información por medio de registros operacionales (fallas) de las cintas transportadoras para generar una base de datos.
- Determinar los componentes críticos (fallas) del equipo por medio del análisis de Pareto.
- Identificar los modos y efectos de falla (AMEF) de las cintas transportadoras para facilitar el diseño del plan de mantenimiento.
- Calcular la disponibilidad de las cintas y evaluarlas.

### 2.3 Alcances

El presente trabajo cuenta con el apoyo de Mina Chépica, Pencahue y sus trabajadores (área de mantenimiento), que son brindados por las instalaciones y facilita información cuantitativa (registro de fallas de las cintas transportadoras) y cualitativa (datos técnicos e información de fallas del equipo). El desarrollo puede verse limitado en cuanto los resultados debido a que la compañía minera solo hace mantenimiento correctivo, es decir, se avería y lo reparan. En este proyecto no hay información sobre fallas y reparaciones realizadas, ya que, no cuentan con planillas de registros. El proyecto estará limitado a un periodo de recolección de datos por al menos 10 a 11 meses.

### 3. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

#### 3.1 Descripción de la faena

El proyecto Chépica de Minera Paicaví S.A. consta con una superficie total de 1.390 de concesiones mineras, de la cual se extrae oro, plata y cobre, los derechos de superficie alcanzan alrededor de 40 hectáreas. Esta propiedad se encuentra a 270 kilómetros al sur de Santiago y 20 km al oeste de la ciudad de Talca, en la Región del Maule, Chile (Figura 2).

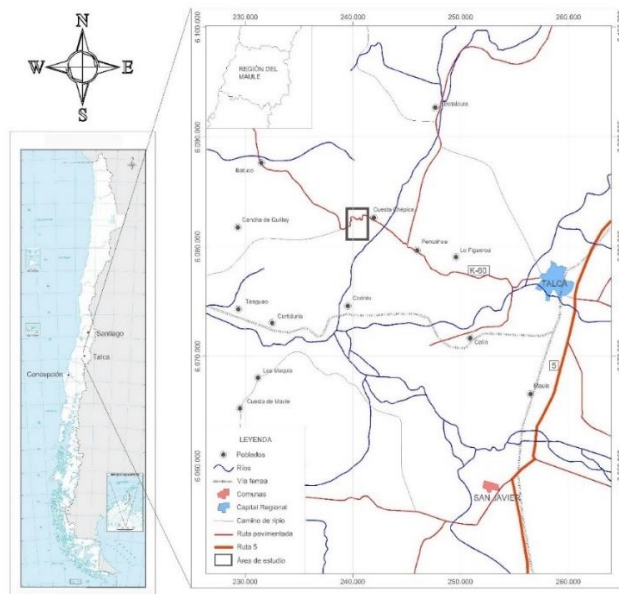


Figura 2: Mapa de ubicación y accesos a Mina Chépica. (Gattas Beher & Rivas Saldaña, 2020)

Este proyecto cuenta con 3 minas subterráneas: Chépica 1, Chépica 2 y Colin y cerca de 2.500 metros lineales de diferentes vetas de cuarzo identificadas en campañas de exploración superficial con anomalías positivas en oro, plata y cobre en superficie. Actualmente, el yacimiento está en operaciones en la Mina Colin y Mina Chépica 2 y se prepara un proyecto en la Mina Chépica 1 para reabrir dicha Mina y otorgar mayor producción y flexibilidad a la planta de procesamiento de minerales. La faena explota mineral de oro, cobre y plata, según se disponga en la

programación mensual. Proyecto Chépica trabaja mediante un ciclo de procedimientos mina el cual es repetitivo para cada una de las extracciones que se efectúan en las diferentes minas, el cual parte con la perforación, seguido por la tronadura, para pasar posteriormente a la ventilación, el material es acuñado, extraído cargado y trasladado a una cancha de acopio para pasar al proceso de chancado, molienda y flotación.

El proyecto, cuenta con una planta de conminución que consiste en 3 chancadores, 1 de mandíbula y 2 de conos, además de harneros vibratorios y correas transportadoras lo cual permite alimentar la concentradora que tiene una capacidad nominal de 10.000 tpm con 3 molinos de bolas. A la fecha, los permisos sectoriales permiten operar a una capacidad de 5.000 tpm, pero en el futuro se espera elaborar un EIA para llegar a las 10.000 tpm (Gattas Beher & Rivas Saldaña, 2020).



## 4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Descripción de las cintas transportadoras y sus componentes

#### 4.1.1 Cintas transportadoras

Las cintas transportadoras consisten en un sistema de transporte continuo conformado por una banda continua que se mueve entre dos tambores. Con respecto al movimiento de la banda el material que se transporta es vertido o depositado a causa de la acción de gravedad (Carrera Meza, 2013).

Además, cabe destacar que las cintas transportadoras hoy en día son muy utilizadas en los procesos mineros para el transporte de material abarcando grandes cantidades de mineral, específicamente en la mina Chépica se procesan cantidades de 5.000 toneladas por mes de mineral.

El transporte de estas cantidades va generando el deterioro de las cintas o componentes de estas lo que a la larga van reduciendo su vida útil por desgaste, estiramiento y fatiga principalmente, teniendo como consecuencia fallas de esta.

Las ventajas que tienen las cintas transportadoras en comparación con otros sistemas de transporte de material (camiones) es que permiten el transporte de materiales a determinadas distancias a un coste por tonelada más bajo, se adaptan a cualquier tipo de terreno, poseen una gran capacidad de transporte y no alteran el producto transportado. Además, son más amigables con el medio ambiente debido a que no generan mayor impacto en el entorno y se están desarrollando nuevas formas de diseño de cintas totalmente cerradas.

#### 4.1.2 Componentes

Las dimensiones de estas cintas no se encuentran estandarizadas y se fabrican según los requerimientos de cada planta de proceso. Cabe mencionar que, para realizar un plan de mantenimiento eficiente, se deben entender cada uno de los elementos principales del sistema transportador. El sistema de transporte de mineral está compuesto por lo siguiente (Figura 3):

- Correas transportadoras
- Polines
- Sistema motriz
- Sistema poleas
- Estructura

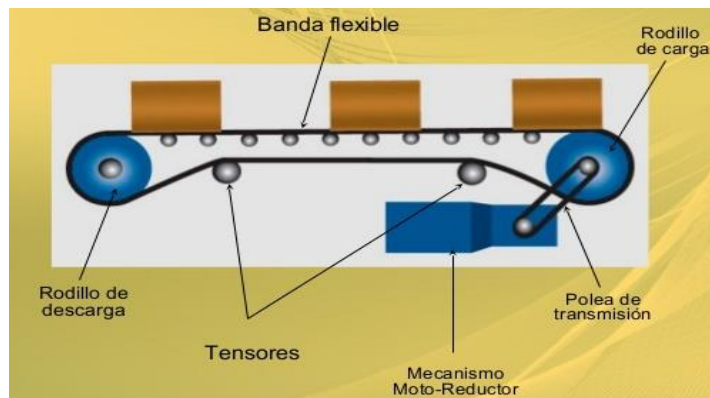


Figura 3:Componentes cinta transportadora. (Silva Sanhueza, 2017)

##### 4.1.2.1 Correa transportadora

Una correa transportadora es un sistema de transporte continuo formado básicamente por una cinta de caucho reforzado, que se mueve entre dos poleas. La correa es arrastrada por fricción por una o más poleas (motrices), que a su vez son accionadas por uno o más motores. Las otras poleas suelen girar libres, y la función de una de ellas (la llamada “polea de cola”) es la de servir de retorno de la correa transportadora. La correa es soportada por rodillos entre las poleas motrices y de cola.

Principales fallas asociadas:

- Se descentra hacia uno de los lados en un punto específico del transportador o correa.
- Se descentra en los polines de retorno.
- Se desalinea en la polea motriz.
- Estiramiento excesivo.
- Agrietamiento de la cubierta superior.
- Separación de las telas del núcleo.

#### 4.1.2.2 Polines

También se le conoce como estaciones, son los elementos encargados de soportar la cinta transportadora y su carga. Se componen de una estructura base (eje de acero y recubrimientos de goma) y de uno o más rodillos sobre los que apoya la cinta. Estos elementos cumplen un rol clave en la eficiencia y durabilidad del transportador, ya que de ellos depende la continuidad del movimiento de materiales. (Figura 4)

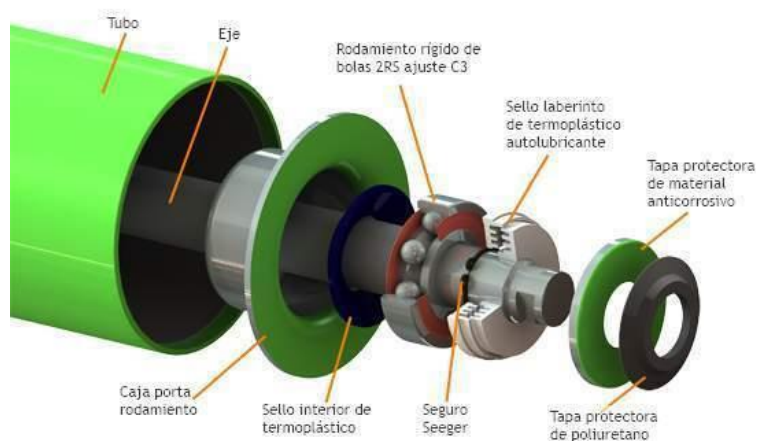


Figura 4: Partes de un polín. (Silva Sanhueza, 2017)

Principales fallas asociadas:

- Desgaste superficial.
- Roturas superficiales.
- Trabamiento de elementos rodantes (rodamientos).

#### *4.1.2.3 Sistema motriz*

Este sistema tiene como función principal entregar energía mecánica a la polea motriz (de forma directa) y en consecuencia a la banda, al resto del sistema móvil y al material fragmentado transportado (de forma indirecta).

**Motor eléctrico:** es el equipo que proporciona torque a la polea motriz mediante la conversión de la energía eléctrica en mecánica (energía cinética rotacional). Este equipo hace que el sistema entre en funcionamiento para desarrollar los procesos de transporte.

Principales fallas:

- El modo de falla (mecánico) que comúnmente presentan los motores eléctricos es el desgaste de rodamientos.
- Pérdida de fase, dejando al motor operando con dos fases, y teniendo un aumento en el consumo de corriente de las otras dos.

#### *4.1.2.4 Sistema de poleas*

Cilindros de acero (de mayor diámetro en comparación a los polines) que giran solidariamente con la banda y que contribuyen a su tensado (Figura 5). Con respecto a su función en las correas transportadoras, se distinguen los siguientes tipos de poleas:

- **Polea motriz:** La polea motriz entrega energía mecánica a la banda a partir del torque proporcionado por el motor eléctrico (energía cinética rotacional).
- **Polea de cola:** La polea de cola permite el retorno de la banda (función estructural).
- **Poleas de inflexión:** Las poleas de inflexión aumentan el área de contacto entre la banda y las dos poleas mencionadas, contribuyendo a mejorar su tensado.

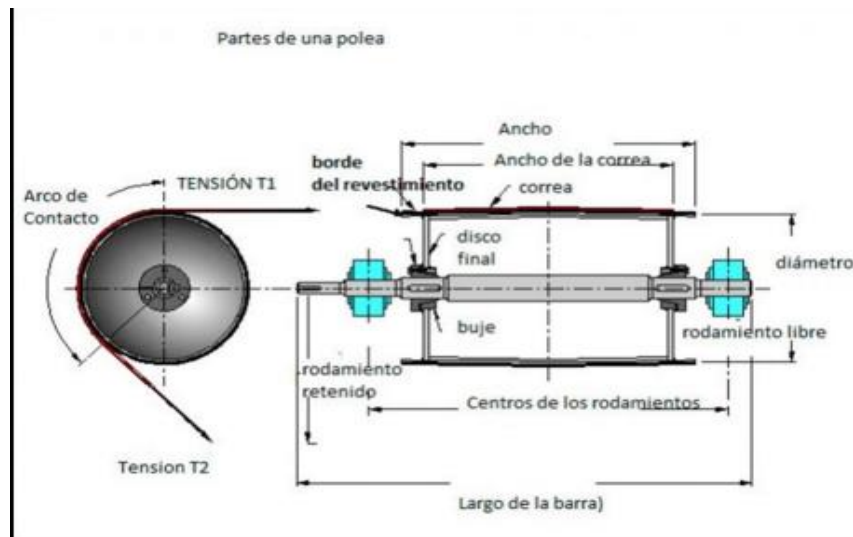


Figura 5: Partes de una polea. (Silva Sanhueza, 2017)

Principales fallas:

- Deformación radial.
- Deformación y/o corte de los ejes.
- Pérdida de revestimiento (grietas, cortes, agujeros, entre otros.)

Tal como se visualiza en la figura 5, otro componente de importancia que son propensos a fallas son los rodamientos, que se emplean para describir la clase de soporte de eje en el que la carga principal se transmite a través de elementos que están en contacto rodante y no deslizante, es decir, su utilización se debe a la característica de transferir las cargas entre los elementos rotatorios y los

estacionarios, permitiendo la rotación relativamente libre con un mínimo de fricción. (Figura 6)

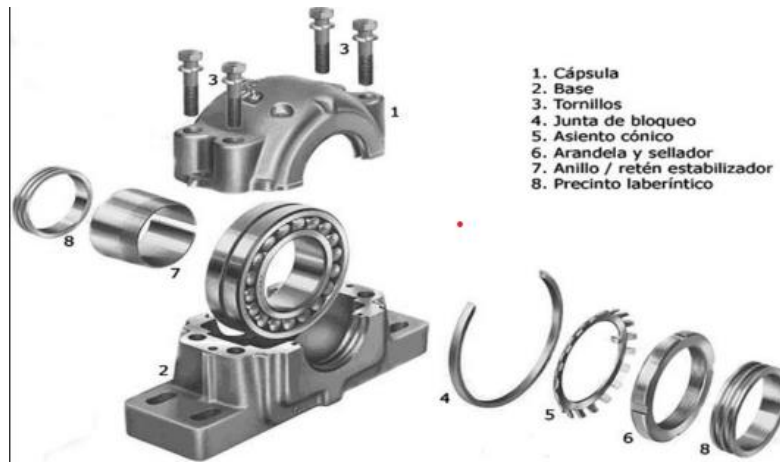


Figura 6: Partes de un rodamiento. (Silva Sanhueza, 2017)

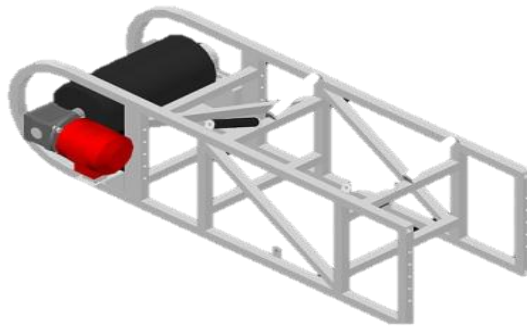
Para este componente se evalúan los principales factores que provocan fallas, debido a que pueden fallar por diversos motivos y eso conlleva un estudio más exhaustivo.

- Fatiga.
- Lubricación deficiente.
- Contaminación.
- Fallas de montaje.
- Manejo incorrecto.

Los principales factores de falla fueron obtenidos del manual SKF de mantenimiento de rodamientos (SKF, s.f).

#### 4.1.2.5 Estructura

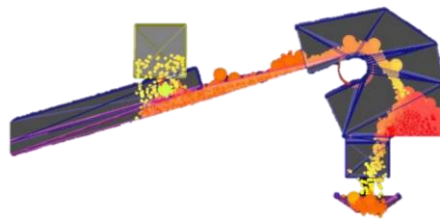
Son soportes o perfiles metálicos, fijados a torres estructurales, que sostienen a los polines, a las poleas de forma directa, a la banda y al material fragmentado de forma indirecta (Figura 7).



*Figura 7: Módulo estructural cinta. (Ruíz Ortiz, 2015)*

Con respecto a la estructura de la cinta se tiene otros componentes relacionados que son de vital importancia para el buen funcionamiento de esta. Entre ellos están los chutes de traspaso y Guarderas.

- **Chute de traspaso:** es un embudo o buzón que sostiene y conduce al material fragmentado y ayuda a reducir la energía cinética en las transferencias de material (Figura 8).

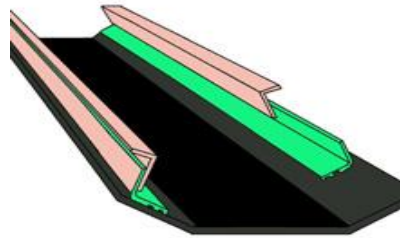


*Figura 8: Chute de traspaso. (Chipoco, 2016)*

### **Principales fallas**

- Desgaste abrasivo de las superficies de contacto.
- Roturas en las superficies de contacto.
- Atollo producidos por mineral.
- Derrames de mineral

- **Guarderas:** Cumplen la función de minimizar el derrame de mineral y polvo que se produce en la zona de carga de una correa transportadora. Son diseñadas de goma o caucho, así no se daña la correa, ya que están en contacto directo (Figura 9).



*Figura 9: Guarderas laterales. (S.A, s.f.)*

#### **Principales fallas:**

- Desgaste prematuro, lo cual produce roturas y pérdida de material.

## 4.2 Teoría del Mantenimiento

En la mayoría de los procesos industriales es de suma importancia aplicar mantenimientos a los equipos para que los procesos sean lo más eficiente posible, pero en algunas ocasiones las industrias no cumplen con esta labor de buena manera teniendo como consecuencia pérdidas considerables de dinero y de producción. Es por ello que es de vital importancia saber a qué apunta un mantenimiento.

Es la política de programación hacia una máquina o equipo con el objetivo fundamental de asegurar la disponibilidad de los equipos, de modo que las diferentes unidades de la organización de una empresa pueden cumplir con las funciones asignadas. En toda empresa industrial debe existir una función de mantención a fin de evitar, en cuanto sea posible, detenciones inesperadas de



cualquiera de los equipos involucrados en un proceso productivo (Carrera Meza, 2013).

Para lograr un buen funcionamiento y un adecuado estado de la conservación de un equipo es necesario realizarle mantención. La falta de conocimiento acerca de la influencia del mantenimiento puede llevar a tomar malas decisiones que pueden afectar al proceso productivo completo, es decir, la mantención y la producción deben estar coordinadas en todas las actividades de los equipos. Todo este proceso es vital para tener el máximo rendimiento de los equipos y reducir costos previniendo fallas o detenciones que afecten al proceso productivo.

#### 4.2.1 Tipos de mantenimientos

##### *4.2.1.1 Mantenimiento Correctivo*

Actividad que se realiza después de la ocurrencia de una falla. El objetivo de este tipo de mantenimiento consiste en llevar a los equipos después de una falla a sus condiciones originales, por medio de restauración o reemplazo de componentes o partes de equipos, debido a desgaste, daños o roturas.

##### *4.2.1.2 Mantenimiento Preventivo*

Es una actividad planificada en cuanto a inspección, detección y prevención de fallas, cuyo objetivo es mantener los equipos bajo condiciones específicas de operación. Se ejecuta a intervalos determinados, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, las condiciones operacionales y al historial de falla de los equipos.

#### 4.2.1.3 Mantenimiento Predictivo

Es la aplicación de la tecnología en el proceso de detecciones tempranas para verificar y detectar cambios de condiciones, que entregan información la cual permite conocer el estado de un elemento en un momento determinado y como ha sido su comportamiento a través de tiempo.

#### 4.3 Plan de mantenimiento

Consiste en elaborar y programar una serie de actividades de mantenimiento en donde a cada labor se le determina una frecuencia determinada y asignar un personal calificado para llevar a cabo estas labores. Con la finalidad de tener un mayor control de las labores de mantenimiento y sean realizadas en los periodos establecidos.

Uno de los planes de mantenimiento más adecuado para las cintas transportadoras es el preventivo debido a que considera inspecciones periódicas que revelará posibles fallas antes de que ocurran, con el propósito de que prevenga posibles detenciones no planificadas.

Este tipo de mantenimiento tiene sus ventajas que lo hacen favorable para el mantenimiento de las correas transportadoras, que se presentan a continuación:

- Bajo costo en relación con el mantenimiento predictivo.
- Reducción importante del riesgo de fallas.
- Reduce la probabilidad de detenciones no programadas.
- Permite llevar un mayor control y planeación sobre el propio mantenimiento a ser aplicado en los equipos.

Pero también tiene desventajas que pueden ser de vital importancia en el momento de elegir este tipo de mantenimiento las cuales son:

- Se requiere de experiencia como datos del fabricante, para realizar un buen plan de mantenimiento a los equipos.
- No permite con exactitud determinar el desgaste o depreciación de los equipos (Silva Sanhuesa, 2017).

#### 4.4 Análisis de datos

En esta etapa analizar los datos es el primer paso para generar el plan de mantenimiento al equipo en cuestión. El análisis consiste en examinar un conjunto de datos con el propósito de obtener conclusiones sobre la información para lograr tomar decisiones precisas para alcanzar el objetivo planteado.

#### 4.5 Análisis de criticidad (Pareto)

Es una técnica gráfica para clasificar aspectos en orden de mayor a menor frecuencia. Está basado en el principio de Pareto. Es una gráfica para organizar datos de forma que estos queden en orden descendente, de izquierda a derecha y separados por barras. Además, tiene como principio que el 20% de las causas totales hace que sean originados el 80% de los efectos y rebotes internos del pronosticado (Gehisy, 2017).

Este diagrama:

- Permite asignar un orden de prioridades.
- Permite mostrar gráficamente el principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales), es decir, que hay muchos problemas sin importancia frente a unos pocos muy importantes. Mediante la gráfica colocamos los “pocos que son vitales” a la izquierda y los “muchos triviales” a la derecha.
- Facilita el estudio de las fallas en las industrias o empresas, siendo este último el de mayor relevancia para el estudio.

## Procedimiento de elaboración

1. Seleccionar el problema que se desea solucionar
2. Identificar los datos a recopilar y ordenar según su frecuencia
3. Obtener un porcentaje relativo de cada causa en función a la ecuación (1):

$$\% \text{ relativo} = \frac{\text{Frecuencia de la causa}}{\text{Total de frecuencias}} \quad (1)$$

4. Calcular los porcentajes acumulados, sumando en forma consecutiva los porcentajes de cada factor.
5. Ejes del diagrama o gráfico: en el eje horizontal (x) se anotan los factores de izquierda a derecha, en orden decreciente respecto a su frecuencia. El eje vertical (y) izquierdo se gradúa de forma tal que sirva para mostrar el número de datos observados (la frecuencia de cada factor), el eje vertical derecho mostrará el porcentaje relativo acumulado.
6. Trazar las barras que representan la frecuencia de cada factor.
7. Graficar los porcentajes relativos acumulados de los factores en puntos partiendo desde el origen y luego generar una curva que una dichos puntos.

En relación con lo anterior para entenderlo de mejor forma se muestra una representación gráfica del diagrama de Pareto (Figura 10).

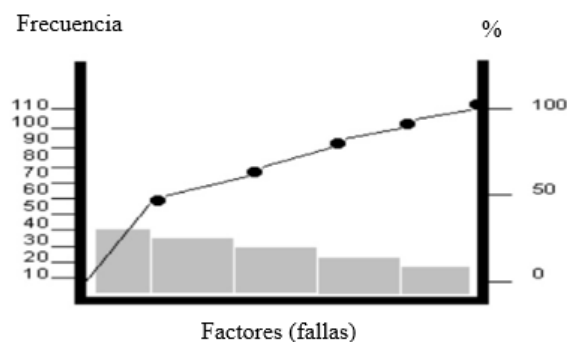


Figura 10: Diagrama de Pareto. (Elaboración propia)

## 4.6 Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF)

Es una herramienta para lograr mejorar las acciones del mantenimiento mediante un análisis formalizado para la identificación sistemática de posibles causas de riesgo y emisión de acciones de recomendación tendientes a minimizar el mismo.

Para este análisis existen diferentes variantes de metodología para elaborar un AMEF, la metodología aquí mostrada, considera los siguientes puntos y pasos:

### **1. Selección del sistema y contexto operacional**

Contexto operacional del activo: Es una descripción global breve de cómo se utiliza este activo, donde se utiliza, y los aspectos que gobiernan los criterios de desempeño global tales como producción, rendimiento, seguridad, integridad ambiental, entre otros.

### **2. Análisis funcional**

Análisis funcional: Se deben identificar todas las funciones del equipo, considerando las funciones de los dispositivos de protección.

Fallas funcionales: Se deben definir todos los estados de falla asociados con cada función. Un activo falla si no es apto de realizar las funciones deseadas.

### **3. Identificación de modos de falla**

Son aquellos eventos que causan los estados de falla. La descripción debe ser suficientemente detallada de modo que facilite la elección de una política de manejo de fallas adecuada.

#### 4. Efectos y consecuencias de la falla

Para cada modo de falla debe indicarse los efectos de falla asociados. El efecto, es una breve descripción de qué pasa cuando la falla funcional ocurre y evaluar las consecuencias de cada modo de falla.

#### 5. Jerarquización del riesgo

Para este paso se le asigna un valor numérico a cada riesgo asociado a una falla funcional, considerando la gravedad, la ocurrencia y la detección como métricas. Luego se combinan en un “**Número de Prioridad de Riesgo (NPR)**”, para analizar el sistema. Al analizar los NPR de alto valor (valores mayores a 80), se pueden abordar los elementos más riesgosos del sistema y menores a 80 son NPR de bajo riesgo. Este indicador se calcula multiplicando la gravedad por la ocurrencia por la detección del riesgo, tal como muestra en la ecuación (2):

$$NPR = G \times O \times D \quad (2)$$

Donde:

Gravedad (G): es la magnitud del efecto final de una falla del sistema, cuanto más grave sea la consecuencia, mayor será el valor de la gravedad que se asignará al efecto. Para evaluar el valor se debe guiar en base a una escala llamada “Clasificación de Gravedad”, que entrega valores de 1 a 10 la cual se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Escala de Gravedad (Bestratén Belloví, Orriols Ramos, & Mata París, 2004)

GRAVEDAD	CRITERIO	VALOR
Muy Baja	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema. Probablemente, el cliente ni se daría cuenta del fallo.	1
Baja	El tipo de fallo originaría un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, éste observara un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia.	2-3
Moderada	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado.	4-5
Alta	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado.	6-8
Muy Alta	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta el funcionamiento de seguridad del producto o proceso y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias. Si tales incumplimientos son graves corresponde un 10	9-10

Ocurrencia (O): se refiere a la frecuencia con la que es probable que ocurra una causa raíz, que se describe de manera cualitativa. La evaluación de este índice se realiza en una escala de 1 a 10 en base a una “Tabla de Ocurrencia”, la cual se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Escala de Ocurrencia (Bestratén Belloví, Orriols Ramos, & Mata París, 2004)

FRECUENCIA	CRITERIO	VALOR
Muy Baja	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos, ni se ha dado nunca en el pasado, pero es concebible.	1
Baja	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos. Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda.	2-3
Moderada	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o previos al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente/sistema.	4-5
Alta	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado.	6-8
Muy Alta	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente.	9-10

Detección (D), se refiere a la probabilidad de detectar una causa raíz antes de que pueda ocurrir una falla. Se evalúa, para cada causa de falla, y se guía mediante la “Tabla de Detección”, que posee una escala de 1 a 10, la cual se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3: Escala de Detección (Bestratén Belloví, Orriols Ramos, & Mata París, 2004)

DETECTABILIDAD	CRITERIO	VALOR
Muy Alta	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes	1
Alta	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posteriori.	2-3
Mediana	El defecto es detectable y posiblemente no llegue al cliente. Posiblemente se detecte en los últimos estadios de producción	4-6
Pequeña	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento.	7-8
Improbable	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente final	9-10

Con respecto a la información mencionada anteriormente, la herramienta utilizada para realizar el AMEF se muestra en la Tabla 4. Esta herramienta cumple la función de englobar todos los pasos necesarios para el desarrollo del análisis de modos y efectos de falla mencionados en el punto 4.6 a fin de obtener los resultados de NPR final asociado a cada falla funcional identificada.

Tabla 4: Formato AMEF con ejemplo. Fuente: elaboración propia

ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS											
#	FUNCIÓN	#	FALLA FUNCIONAL	#	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA	CONSECUENCIA DE FALLA	G	O	D	NPR
1	Contar con botonera de emergencia	1	No para en caso de emergencia	1	Botonera en mal estado	Accidente laboral o fallo en el sistema	No operativa e impacto en la seguridad laboral	9	5	3	125



## 4.7 Disponibilidad

La disponibilidad es una manera de cuantificar cuanto tiempo está un equipo funcionando como debe o disponible para ser utilizado. A mayor disponibilidad, se puede producir más y mayor es su rendimiento sobre activos. Por lo tanto, el objetivo es minimizar el tiempo muerto o de mantenimiento.

### 4.7.1 Cálculo de disponibilidad

Es la disponibilidad de un estado estable, que para su cálculo considera sólo el tiempo de inactividad del equipo, debido a paradas para un mantenimiento correctivo asociado a dos indicadores de mantenimiento presentes en la Ecuación (3).

$$\% \text{ Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100 \quad (3)$$

Donde el índice MTBF (tiempo medio entre fallas) representa el tiempo promedio que transcurre entre dos averías en un mismo equipo y se representa en horas. Este índice es una medida básica de la confiabilidad del sistema y se calcula considerando el “*tiempo disponible total*” menos el “*tiempo de inactividad*”, dividido por el “*número de detenciones del equipo*” en su respectivo mes. Ecuación (4).

$$MTBF = \frac{\text{tiempo total disponible} - \text{tiempo de inactividad}}{\text{número de detenciones}} \quad (4)$$

Mientras que el índice MTTR (tiempo medio de reparación) es el tiempo esperado para recuperar un sistema o equipo de una falla y se representa en horas, es decir, el tiempo empleado en dejar operativo o listo para funcionar el sistema o equipo en cuestión.

El valor calculado idealmente debe ser mayor o igual a 85% para que se encuentre dentro de los rangos aceptables de disponibilidad, en caso contrario es de suma importancia tomar medidas para elevar este porcentaje reduciendo las horas paradas de mantenimiento.

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1 Caracterización del equipo y sus componentes

En esta etapa se hizo una caracterización detallada de las cintas con sus respectivos componentes, los cuales ayudaron a visualizar de mejor forma cuales pueden ser los componentes más propensos a fallar y qué conexión tienen unos con otros.

### 5.2 Registros operacionales

Para este proceso se entregó unas planillas (Anexo 1) a los trabajadores del área de mecánica de la mina Chépica, las cuales se realizaron por un periodo de 10 a 11 meses (febrero a diciembre del 2020) con el fin de obtener resultados para el proyecto. Esta etapa consistió en ir haciendo un registro de las fallas que presente el equipo en cuestión, horario de inicio y final de la detención, si la detención ocurre o no en horas del turno de trabajo. Los datos que se obtienen de las planillas fueron traspasados y archivados en una planilla utilizando el software Excel con el fin de ordenarlos y clasificarlos por el tipo de cinta en cuestión lo que hizo que su revisión y análisis sea más efectiva.

Además, esto permitió hacer un análisis de cuáles son las partes críticas del equipo que generan mayores detenciones en el proceso por medio del análisis de Pareto. Con ello se logró aplicar un plan de mantenimiento preventivo específico para lograr la mayor disponibilidad del equipo en sus horas de trabajo y reducir los costos que conlleva tener un equipo en detención.

### 5.3 Análisis de datos

Se revisaron los datos para verificar que son los adecuados para llevar a cabo en el trabajo, clasificación de estos de acuerdo con los tipos de fallas que se presenten durante el periodo de registro y verificar que han sido bien tomados para

tener una base de datos óptima. Estos datos fueron registrados en una hoja Excel para facilitar su revisión y organización asociados a cada cinta transportadora en estudio.

#### 5.4 Análisis de resultados

En base a los registros operacionales se determinaron las fallas más recurrentes en cada equipo, las cuales se clasificaron de acuerdo con los componentes principales de las cintas transportadoras. Con ello se realizó un análisis de Pareto que representó a rasgos generales las principales fallas que producen las detenciones en los equipos y junto a ello calcular la disponibilidad que presentan los equipos con el fin de lograr aumentarla en el desarrollo del plan de mantenimiento. Además, se debe considerar el análisis de modos y efectos de falla (AMEF) el cual contempla un análisis más específico del modo y efectos que genera algún tipo de falla con la finalidad de tener como referencia la causa y la forma de combatir la falla.

Este análisis considera tres métricas para el cálculo del Número de Prioridad de Riesgo (NPR) en donde se considera la gravedad (G), ocurrencia (O) y detección (D) para obtener estos índices, es necesario regirse bajo tablas de clasificación que posee cada variable mencionada con una escala de 1 a 10 dependiendo de la consecuencia. Estos índices fueron cuantificados al realizar una entrevista al personal calificado a cargo de las mantenciones de las cintas en estudio. En base a los resultados obtenidos se hizo más fácil elaborar el plan de mantenimiento preventivo considerando la prioridad de riesgo de los componentes.

## 6. DESARROLLO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 6.1 Caracterización de las cintas transportadoras

Con respecto al enfoque principal de esta memoria que son las cintas transportadoras, el proceso de conminución consta de 9 cintas transportadoras (1A,1B,2,3,4,5,6,7 y 8) que facilitan el transporte de material. Estas serán descritas a continuación:

#### 6.1.1 Cinta 1A

La cinta transportadora cumple con el objetivo de llevar el material que sale del chancador primario de mandíbulas a la cinta 1B, la cual lleva el material al harnero secundario.

*Tabla 5: Datos técnicos cinta 1A (Montero Muñoz & Stavros González, 2012)*

Largo	13,07 metros
Ancho	21 pulgadas
Motor	5,5 kw
<b>Reductor</b>	
• Potencia	7,5 HP
• Revoluciones	1.440 rpm

### 6.1.2 Cinta 1B

La cinta transportadora 1B cumple con la función de trasladar desde la cinta 1A al harnero secundario, además de ser alimentado por el material que se fue al chancador secundario con el fin de bajar el tamaño de la roca.

*Tabla 6: Datos técnicos cinta 1B (Montero Muñoz & Stavros González, 2012)*

Motor	5,5 kw
Largo	17,96 metros
Ancho	21 pulgadas
Diámetro tambor	34 cm
<b>Reductor</b>	i 1:20
• Marca	Nord Technik
• Potencia	7,5 HP

### 6.1.3 Cinta 2

La cinta dos es la cinta que conecta el chancador de cono secundario con la cinta 3.

*Tabla 7: Datos técnicos cinta 2 (Montero Muñoz & Stavros González, 2012)*

Largo	4,6 metros
Ancho	18 pulgadas
Diámetro tambor	30 cm
<b>Reductor</b>	i 1/15
• Motor	5,5 kw
• Revoluciones	1.440 rpm

### 6.1.4 Cinta 3

La cinta 2 es depositada en la cinta tres la cual es la encargada finalmente de cerrar el ciclo de chancado, pues ésta descarga sobre la cita 1B para que sea vuelva a chancar el material.

*Tabla 8: Datos técnicos cinta 3 (Montero Muñoz & Stavros González, 2012)*

Largo	12,4 metros
Ancho	23,8 pulgadas
Diámetro tambor	30 cm
<b>Reductor</b>	i 1/15
• Motor	5,5 kw
• Revoluciones	1.440 rpm

### 6.1.5 Cinta 4

La cinta 4 es la encargada de recepcionar lo que pasó por las parrillas 1 y 2 para ser entregado finalmente a la cinta 6 la cual llega al acopio.

*Tabla 9: Datos técnicos cinta 4 (Montero Muñoz & Stavros González, 2012)*

Largo	13,5 metros
Ancho	20 pulgadas
Diámetro tambor	34 cm
<b>Reductor</b>	i 1/15
• Motor	5,5 kw
• Revoluciones	1.440 rpm

### 6.1.6 Cinta 5

La cinta 5 es la que recibe todas las rocas menores de 3/4 y mayor que 3/8 para ser conducidas al chancador secundario o terciario.

*Tabla 10: Datos técnicos cinta 5 (Montero Muñoz & Stavros González, 2012)*

Largo	12 metros
Ancho	21 pulgadas
Diámetro tambor	34 cm
<b>Reductor</b>	i 1/15
• Motor	4 kw
• Revoluciones	1.440 rpm

### 6.1.7 Cinta 6

La cinta número 6 recibe de todo el fino bajo el segundo harnero y bajo lo que pasa por el chancador terciario lo cual llega a la tolva fino.

*Tabla 11: Datos técnicos cinta 6 (Montero Muñoz & Stavros González, 2012)*

Largo	18,86 metros
Ancho	20,5 pulgadas
Diámetro tambor	34 cm
<b>Reductor</b>	i 1/15
• Motor	4 kw
• Revoluciones	1.395 rpm



### 6.1.8 Cinta 7

La cinta número 7 recibe el material de las tolvas de fino del acopio para finalizar en el molino.

*Tabla 12: Datos técnicos cinta 7 (Montero Muñoz & Stavros González, 2012)*

Ancho	21 pulgadas
Diámetro tambor	30 cm
<b>Reductor</b>	I 1/15
• Motor	4 HP
• Revoluciones	1.395 rpm

### 6.1.9 Cinta 8

La cinta número 8 recibe el material de las tolvas de fino del acopio para finalizar en el molino.

*Tabla 13: Datos técnicos cinta 8 (Montero Muñoz & Stavros González, 2012)*

Largo	22 metros
Ancho	21 pulgadas
Diámetro tambor	30 cm
<b>Reductor</b>	I 1/15
• Motor	4 HP
• Revoluciones	1.395 rpm

## 6.2 Análisis general de fallas de Cintas transportadoras

Con respecto al historial de fallas recopilados (261 fallas) en el periodo de estudio (febrero a diciembre del 2020) a las 9 cintas transportadoras de “Proyecto Chépica”, específicamente de las dependencias de la planta de conminución y luego del análisis de datos para verificar su congruencia, se obtuvo el siguiente resumen de fallas y la distribución de datos asociada a los componentes principales de las cintas. (Tabla 14 y figura 11). El cálculo del porcentaje relativo fue calculado en base a la ecuación (1) presente en el marco teórico. Mientras que el porcentaje acumulado corresponde a la suma continua de los porcentajes relativos hasta llegar al 100%.

Tabla 14: Resumen historial de fallas. (Elaboración propia)

FALLAS PRINCIPALES	FRECUENCIA	% RELATIVO	% ACUMULADO
PROBLEMA DE LUBRICACION	168	64%	64%
ESTRUCTURA (GUARDERAS)	30	11%	76%
FALLA MOTRIZ (GENERAL)	25	10%	85%
FALLA ALINEACION	21	8%	93%
FALLA CORREA	8	3%	97%
FALLA TENSION	6	2%	99%
FALLA ELECTRICA	3	1%	100%
<b>TOTAL</b>	<b>261</b>	<b>100%</b>	<b>-</b>

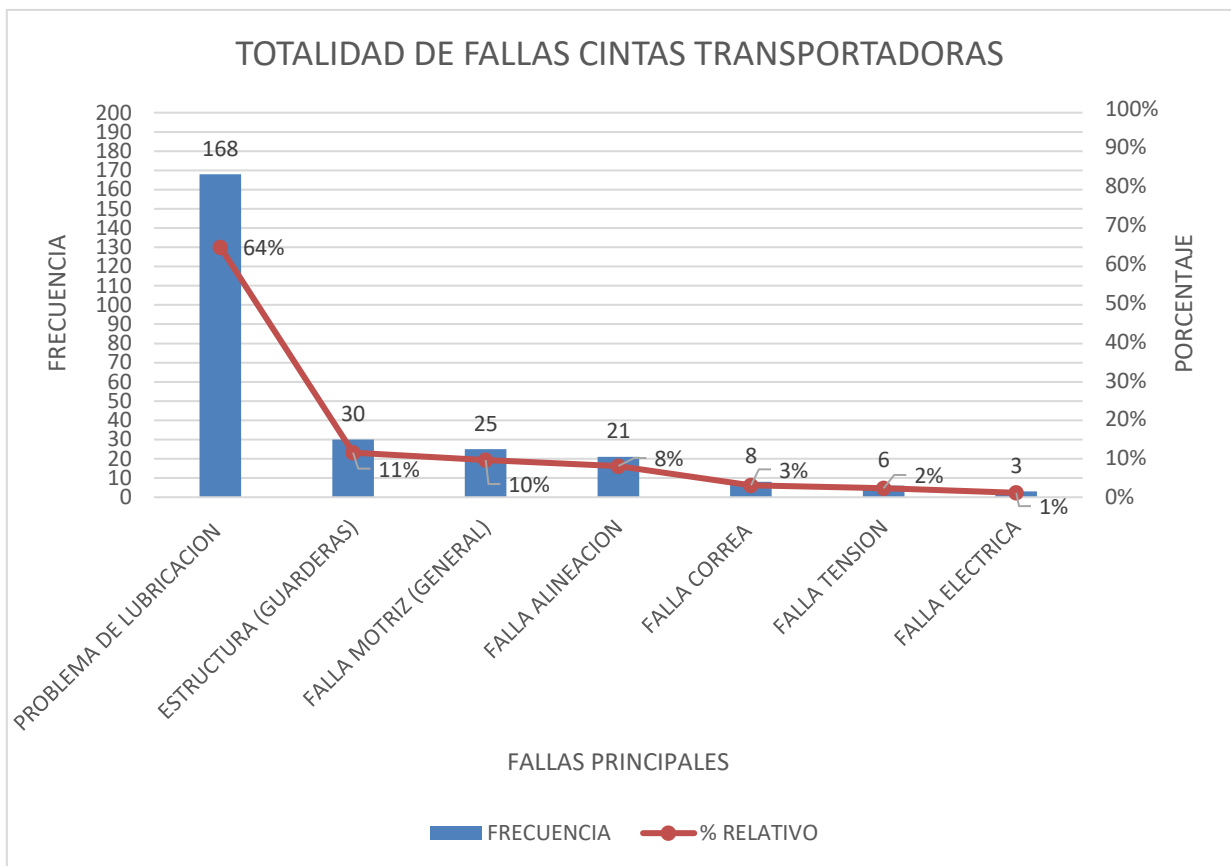


Figura 11: Gráfica de la totalidad de las fallas. (Elaboración propia)

Con respecto a la tabla 14 y la figura 11 se observa que una de las fallas más recurrentes en la planta de conminución en relación con el transporte de material mediante cintas es el “**Problema de lubricación**” sobresaliendo ante las otras fallas con una frecuencia de 168 fallas y un porcentaje relativo de 64% a lo largo del periodo de estudio, dando como resultado que es el tipo de falla que más importancia se le debe dar con la finalidad de reducir sus apariciones y que abarca más de la mitad de las fallas totales. Se debe tener en cuenta que las cintas transportadoras desplazan material minero por ende suele haber liberación de partículas de polvo (polución) que suelen alojarse en las partes móviles de las cintas haciendo que estas reduzcan su lubricación y sea mayor su desgaste reduciendo su vida útil provocando inminentes fallas que provocan detenciones del proceso. En relación con los tipos de falla restantes son los problemas en la estructura (Guarderas), alineación y fallas motrices con una frecuencia de 30, 25 y 21 apariciones y un porcentaje de 11%, 10% y 8% respectivamente a las cuales

también se les debe dar importancia para reducir estos valores. Por último, pero no menos importante se tienen las fallas en correa, tensión y eléctricas con frecuencias mucho menores a las anteriores de 8, 6 y 3 apariciones y con porcentajes relativos de 3%, 2% y 1% respectivamente, a las que se les debe tener en cuenta ya que son fallas que para solucionarlas requieren de un mayor tiempo de reparación, pero por su historial no son repetitivas de acuerdo con el periodo de estudio.

### 6.3 Análisis de criticidad (Diagrama de Pareto)

Para el desarrollo de este análisis de criticidad se consideró el levantamiento de información por medio de las plantillas de registros operacionales durante los 10 a 11 meses de estudio (febrero a diciembre 2020) para evaluar las fallas que son más recurrentes en cada una de las cintas transportadoras en estudio, con la finalidad de mostrar gráficamente el principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales), es decir, que hay muchos problemas sin importancia frente a unos pocos muy importantes. Mediante la gráfica colocamos los “pocos que son vitales” a la izquierda y los “muchos triviales” a la derecha.

#### 6.3.1 Análisis de criticidad cinta transportadora 1A

A continuación, se presenta el detalle y resumen de las fallas que se originaron en esta cinta durante el periodo de estudio, las que en su totalidad fueron 33 fallas en relación con sus componentes principales (Tabla 15).

Tabla 15: Resumen de fallas cinta 1A. (Elaboración propia)

FALLAS PRINCIPALES	FRECUENCIA	% RELATIVO	% ACUMULADO
PROBLEMA DE LUBRICACION	19	58%	58%
FALLA ALINEACION	4	12%	70%
ESTRUCTURA	4	12%	82%
FALLA MOTRIZ (GENERAL)	3	9%	91%
FALLA ELECTRICA	1	3%	94%
FALLA CORREA (CAMBIO)	1	3%	97%
FALLA TENSION	1	3%	100%
<b>TOTAL</b>	<b>33</b>	<b>100%</b>	<b>-</b>

Considerando los antecedentes de la tabla 15, se observa que la falla más común que presentó esta cinta es el problema de lubricación con 19 apariciones presentando un porcentaje del 58% del total de las fallas. Luego le siguen falla de alineación, estructura y falla motriz con 4, 4 y 3 apariciones respectivamente presentando un porcentaje relativo de 12%,12% y 9%, siendo un número bastante menor con respecto a la más común. Mientras que falla eléctrica, de correa y de tensión fueron las que menos se presentaron durante el periodo de estudio con 1 aparición cada una y un porcentaje de 3%. Teniendo como total 7 causas o tipos de fallas que afectaron el funcionamiento de la cinta.

Dada la información de la tabla 15, se realizó el diagrama de Pareto con la finalidad de visualizar en forma gráfica la distribución de las fallas de acuerdo con su frecuencia, porcentaje acumulado y de esta forma identificar las fallas más críticas o vitales, según definición con respecto a la totalidad de las fallas del equipo (Figura 12).

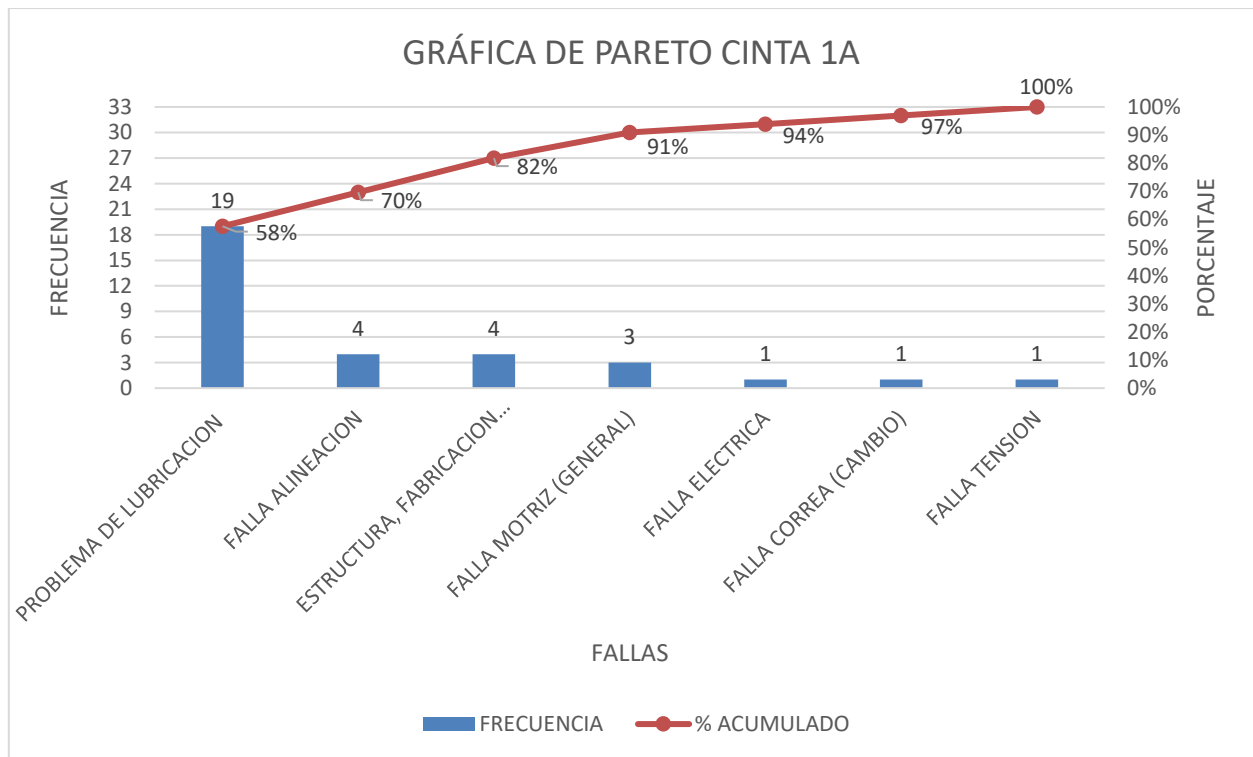


Figura 12: Gráfica de Pareto cinta 1A. (Elaboración propia)

**Nota:** las barras azules en la figura 12 representan las causas o tipos de fallas en el eje X, mientras que la línea punteada roja denota el porcentaje acumulado de cada causa (eje Y derecho) con respecto a su frecuencia de ocurrencia (eje Y izquierdo) de la gráfica.

Respecto a la figura 12, se visualiza que la falla más crítica para esta cinta es el problema de lubricación y falla de alineación que sumados sus porcentajes de ocurrencia llegan al 70% del total de las fallas y tal como dice la regla de Pareto “Que el 20% de las causas generan el 80 % de las consecuencias o efectos”, en este caso en particular el 27% de las fallas o causas (problema de lubricación y falla de alineación) generan el 70% de las consecuencias o detenciones, siendo este valor el que más se acerca al 80% de la regla de Pareto (20% - 80%). Considerando a estas dos causas como vitales (mayor importancia) son a las que mayor énfasis se les debe dar debido a que contienen los valores más alto de detenciones. Es por ello que la finalidad es reducir este índice de detención y así tener una mejora continua en la producción. Mientras que las causas restantes son denominadas como triviales (“menor importancia”) en el contexto de cuantificar los tipos de fallas, ya que, estas últimas pueden ser más graves o requieran mayor tiempo de reparación. Además de acuerdo con los resultados obtenidos esta es la segunda cinta transportadora que presentó más fallas en el periodo de estudio, es decir, es una de las más críticas.

El análisis realizado a esta cinta será similar para las posteriores cintas considerando el resumen de datos y la gráfica de Pareto con su respectivo análisis.

### 6.3.2 Análisis de criticidad cinta transportadora 1B

Esta cinta presentó un total de 30 fallas durante el periodo de estudio y en la tabla 16 se visualiza su detalle.

Tabla 16: Resumen de fallas cinta 1B. (Elaboración propia)

FALLAS PRINCIPALES	FRECUENCIA	% RELATIVO	% ACUMULADO
PROBLEMA DE LUBRICACION	18	60%	60%
ESTRUCTURA	4	13%	73%
FALLA MOTRIZ (GENERAL)	3	10%	83%
FALLA ALINEACION	2	7%	90%
FALLA CORREA (CAMBIO)	2	7%	97%
FALLA TENSION	1	3%	100%
<b>TOTAL</b>	<b>30</b>	<b>100%</b>	

Considerando los antecedentes de la tabla 16, se observa que la falla más recurrente que presentó esta cinta es el problema de lubricación con 18 apariciones presentando un porcentaje del 60% del total de las fallas. Luego le siguen falla de estructura y falla motriz con 4 y 3 apariciones respectivamente presentando un porcentaje relativo de 13% y 10%, siendo un número bastante menor con respecto a la más recurrente. Mientras que falla de alineación, de correa y de tensión fueron las que menos se presentaron durante el periodo de estudio con 2, 2 y 1 apariciones y un porcentaje de 7%, 7% y 3% respectivamente. Pero no menos importantes debido a que algunas presentan un mayor tiempo de reparación.

Luego se realizó el diagrama de Pareto con la finalidad de visualizar en forma gráfica la distribución de las fallas y de esta forma identificar las fallas más críticas o vitales, según definición con respecto a la totalidad de las fallas del equipo (Figura 13).

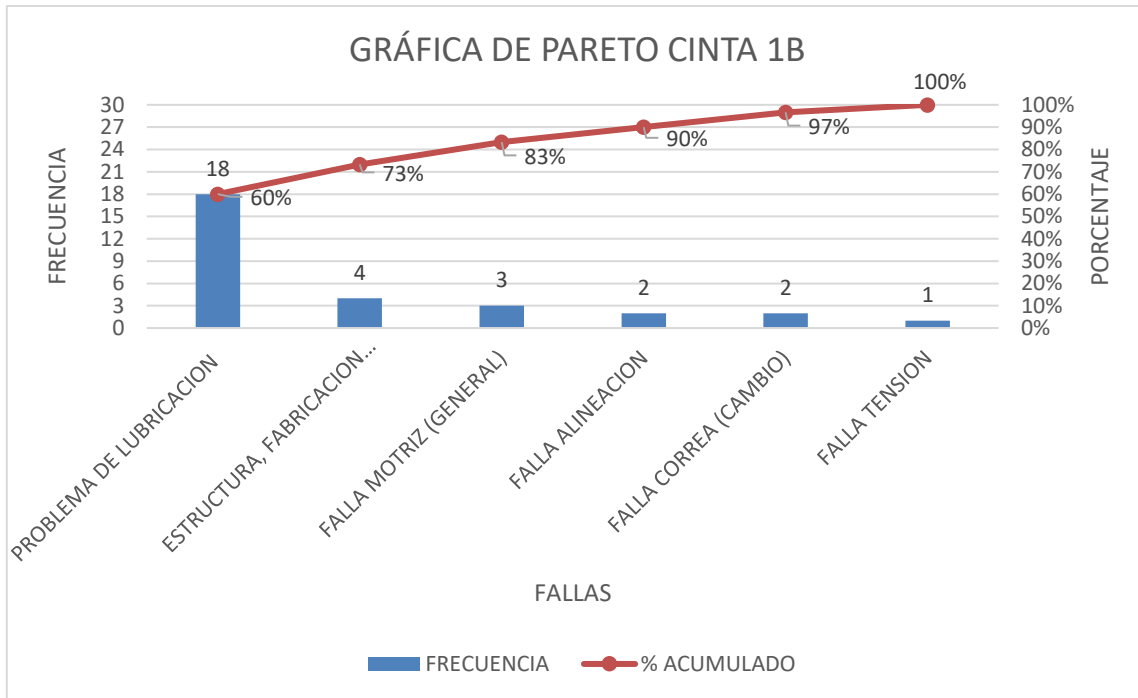


Figura 13: Gráfica de Pareto cinta 1B. (Elaboración propia)

Respecto a la figura 13, se visualiza que la falla más crítica para esta cinta es el problema de lubricación y falla de estructura que sumados sus porcentajes de ocurrencia llegan al 73% del total de las fallas y tal con respecto a la regla de Pareto se infiere lo siguiente: en caso en particular el 33% de las fallas o causas (problema de lubricación y falla de estructura) generan el 73% de las consecuencias o detenciones, siendo este valor el que más se acerca al 80% de la regla de Pareto (20% - 80%). Considerando a estas dos causas como vitales (mayor importancia) son a las que mayor énfasis se les debe dar debido a que contienen los valores más alto de detenciones. Es por ello que la finalidad es reducir este índice de detención y así tener una mejora continua en la producción. Mientras que las causas restantes son denominadas como triviales (“menor importancia”) en el contexto de cuantificar los tipos de fallas, ya que, estas últimas pueden ser más graves o requieran mayor tiempo de reparación.



### 6.3.3 Análisis de criticidad cinta transportadora 2

Esta cinta presentó un total de 25 fallas durante el periodo de estudio y en la tabla 17 se visualiza su detalle.

Tabla 17: Resumen de fallas cinta 2. (Elaboración propia)

FALLAS PRINCIPALES	FRECUENCIA	% RELATIVO	% ACUMULADO
PROBLEMA DE LUBRICACION	19	76%	76%
ESTRUCTURA	4	16%	92%
FALLA MOTRIZ (GENERAL)	2	8%	100%
<b>TOTAL</b>	<b>25</b>	<b>100%</b>	

Considerando los antecedentes de la tabla 17, se observa que la falla más recurrente que presentó esta cinta es el problema de lubricación con 19 apariciones presentando un porcentaje del 76% del total de las fallas. Luego le siguen falla de estructura y falla motriz con 4 y 2 apariciones respectivamente presentando un porcentaje relativo de 16% y 8%, cifras bastante lejanas considerando a la más común. En relación con las anteriores esta cinta presentó menos cantidad y tipos de fallas.

Luego se realizó el diagrama de Pareto con la finalidad de visualizar en forma gráfica la distribución de las fallas y de esta forma identificar las fallas más críticas o vitales, según definición con respecto a la totalidad de las fallas del equipo. Ver figura 14.

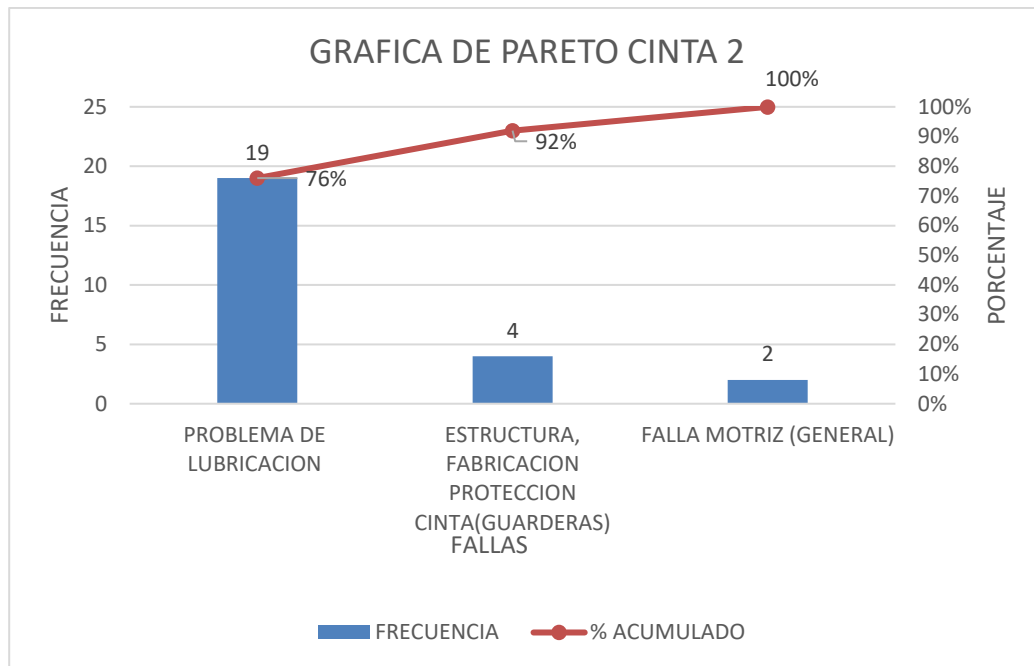


Figura 14: Gráfica de Pareto cinta 2. (Elaboración propia)

Respecto a la figura 14, se visualiza que la falla más crítica para esta cinta es el problema de lubricación con un porcentaje de ocurrencia del 76% del total de las fallas y con respecto a la regla de Pareto se infiere lo siguiente: en este caso en particular el 33% de las fallas o causas (problema de lubricación) generan el 76% de las consecuencias o detenciones, siendo este valor el que más se acerca al 80% de la regla de Pareto (20% - 80%). Considerando lo anteriormente mencionado, esta causa es a la que mayor énfasis se le debe dar debido a que contienen los valores más altos de detenciones y se considerada como un vital, es decir, es una causa crítica o de mayor relevancia de acuerdo con el principio de Pareto. Es por ello que la finalidad es reducir este valor de detenciones generada por esa causa vital.

#### 6.3.4 Análisis de criticidad cinta transportadora 3

Esta cinta presentó un total de 26 fallas durante el periodo de estudio y en la tabla 18 se visualiza su detalle. Además, presentó solo 3 tipos de fallas igual que la cinta anterior.

Tabla 18: Resumen de fallas cinta 3. (Elaboración propia)

FALLAS PRINCIPALES	FRECUENCIA	% RELATIVO	% ACUMULADO
PROBLEMA DE LUBRICACION	19	73%	73%
ESTRUCTURA	4	15%	88%
FALLA MOTRIZ (GENERAL)	3	12%	100%
<b>TOTAL</b>	<b>26</b>	<b>100%</b>	

Considerando los antecedentes de la tabla 18, se observa que la falla más recurrente que presentó esta cinta es el problema de lubricación con 19 apariciones presentando un porcentaje del 73% del total de las fallas. Luego le siguen falla de estructura y falla motriz con 4 y 3 apariciones respectivamente presentando un porcentaje relativo de 15% y 12%, cifras bastante lejanas considerando a la más común. En relación con las anteriores esta cinta presentó menos cantidad y tipos de fallas.

Luego se realizó el diagrama de Pareto con la finalidad de visualizar en forma gráfica la distribución de las fallas y de esta forma identificar las fallas más críticas o vitales, según definición con respecto a la totalidad de las fallas del equipo (Figura 15).

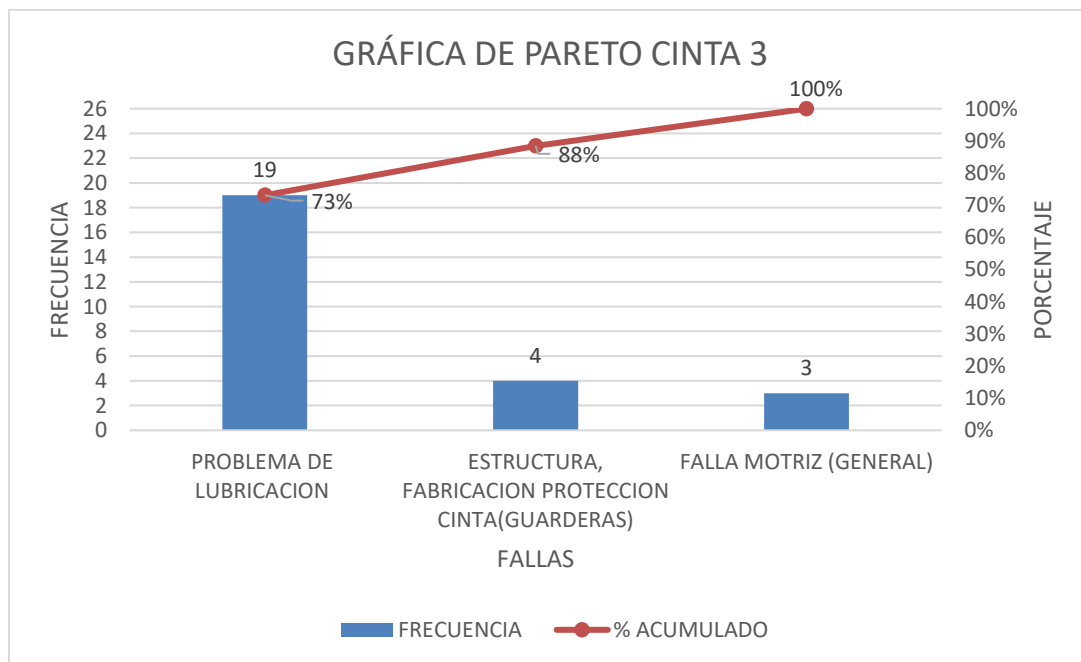


Figura 15: Gráfica de Pareto cinta 3. (Elaboración propia)

En la figura 15, se visualiza que la falla más crítica para esta cinta es el problema de lubricación con un porcentaje de ocurrencia del 73% del total de las fallas y con respecto a la regla de Pareto se infiere lo siguiente: en este caso en particular el 33% de las fallas o causas (problema de lubricación) generan el 73% de las consecuencias o detenciones, siendo este valor el que más se acerca al 80% de acuerdo con la regla de Pareto (20% / 80%). Considerando lo anteriormente mencionado, a esta causa es a la que mayor énfasis se le debe dar debido a que contiene el valor más alto de detenciones y se considera como un vital de acuerdo con el principio de Pareto. Es por ello que la finalidad es reducir este índice de detención y así tener una mejora continua en la producción.

#### 6.3.5 Análisis de criticidad cinta transportadora 4

Esta cinta presentó un total de 26 fallas durante el periodo de estudio y en la tabla 19 se visualiza su detalle con los respectivos tipos de fallas predominantes.

Tabla 19: Resumen de fallas cinta 4. (Elaboración propia)

FALLAS PRINCIPALES	FRECUENCIA	% RELATIVO	% ACUMULADO
PROBLEMA DE LUBRICACION	19	73%	73%
ESTRUCTURA	4	15%	88%
FALLA MOTRIZ (GENERAL)	2	8%	96%
FALLA ALINEACION	1	4%	100%
<b>TOTAL</b>	<b>26</b>	<b>100%</b>	

Considerando los antecedentes de la tabla 19, se observa que la falla más recurrente que presentó esta cinta es el problema de lubricación con 19 apariciones presentando un porcentaje del 73% del total de las fallas. Luego le siguen falla de estructura, falla motriz y falla de alineación con 4, 2 y 1 apariciones presentando un porcentaje relativo de 15%, 8% y 4% respectivamente, cifras bastante más bajas con respecto a la más recurrente, lo que en términos de detenciones es un buen indicativo.

Luego se realizó el diagrama de Pareto con la finalidad de visualizar en forma gráfica la distribución de las fallas y de esta forma identificar las fallas más críticas o vitales, según definición con respecto a la totalidad de las fallas del equipo (Figura 16).

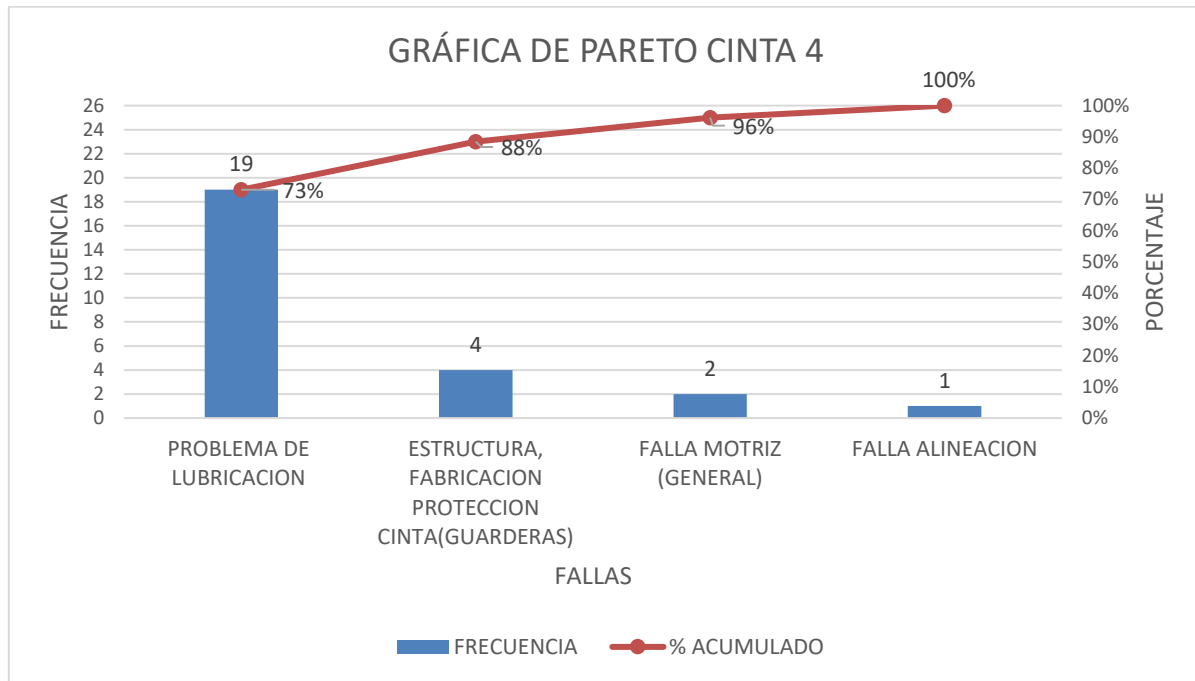


Figura 16: Gráfica de Pareto cinta 4. (Elaboración propia)

En la figura 16, se visualiza que la falla más crítica para esta cinta es el problema de lubricación con un porcentaje de ocurrencia del 73% del total de las fallas y con respecto a la regla de Pareto se infiere lo siguiente: en este caso en particular el 25% de las fallas o causas (problema de lubricación) generan el 73% de las consecuencias o detenciones, siendo este valor el que más se acerca al 80% de acuerdo con la regla de Pareto (20% / 80%). Considerando lo anteriormente mencionado, a esta causa es a la que mayor énfasis se le debe dar debido a que contiene el valor más alto de detenciones (denominada como causa vital). Es por ello que la finalidad es reducir este índice de detención y así tener una mejora continua en la producción.

### 6.3.6 Análisis de criticidad cinta transportadora 5

Esta cinta presentó un total de 26 fallas durante el periodo de estudio y en la tabla 20 se visualiza su detalle con los respectivos tipos de fallas predominantes.

Tabla 20: Resumen de fallas cinta 5. (Elaboración propia)

FALLAS PRINCIPALES	FRECUENCIA	% RELATIVO	% ACUMULADO
PROBLEMA DE LUBRICACION	19	73%	73%
ESTRUCTURA	3	12%	85%
FALLA MOTRIZ (GENERAL)	3	12%	96%
FALLA ELÉCTRICA	1	4%	100%
<b>TOTAL</b>	<b>26</b>	<b>100%</b>	

Considerando los antecedentes de la tabla 20, se observa que la falla más recurrente que presentó esta cinta es el problema de lubricación con 19 apariciones presentando un porcentaje del 73% del total de las fallas. Luego le siguen falla de estructura, falla motriz y falla eléctrica con 3, 3 y 1 apariciones presentando un porcentaje relativo de 12%, 12% y 4% respectivamente, cifras bastante más bajas con respecto a la más recurrente, lo que en términos de detenciones es un buen indicativo.

Luego se realizó el diagrama de Pareto con la finalidad de visualizar en forma gráfica la distribución de las fallas y de esta forma identificar las fallas más críticas o vitales (importantes) y los triviales (poca importancia), según definición con respecto a la totalidad de las fallas del equipo (Figura 17).

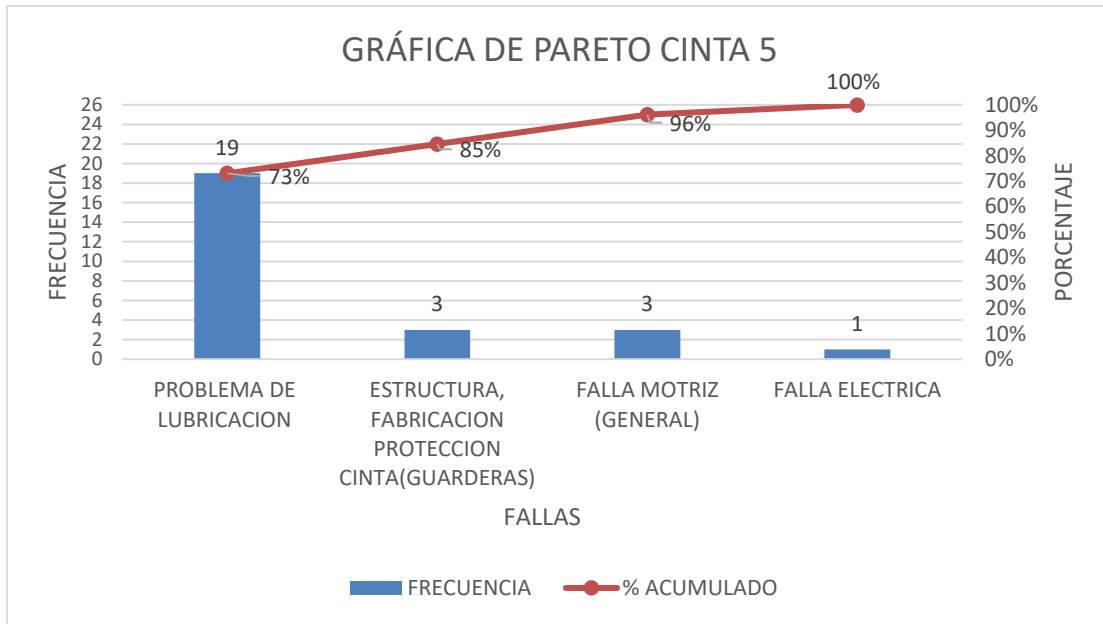


Figura 17: Gráfica de Pareto cinta 5. (Elaboración propia)

En la figura 17, se visualiza que la falla más crítica para esta cinta es el problema de lubricación con un porcentaje de ocurrencia del 73% del total de las fallas y con respecto a la regla de Pareto se infiere lo siguiente: en este caso en particular el 25% de las fallas o causas (problema de lubricación) generan el 73% de las consecuencias o detenciones, siendo este valor el que más se acerca al 80% de acuerdo con la regla de Pareto (20% / 80%). Considerando lo anteriormente mencionado, a esta causa es a la que mayor énfasis se le debe dar debido a que contiene el valor más alto de detenciones (denominada como causa vital). Es por ello que la finalidad es reducir este índice de detención y así tener una mejora continua en la producción.

### 6.3.7 Análisis de criticidad cinta transportadora 6

Esta cinta presentó un total de 29 fallas durante el periodo de estudio y en la tabla 21 se visualiza su detalle con los respectivos tipos de fallas predominantes, que en este caso son 5 tipos de falla presentes.

Tabla 21: Resumen de fallas cinta 6. (Elaboración propia)

<b>FALLAS PRINCIPALES</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>% RELATIVO</b>	<b>% ACUMULADO</b>
PROBLEMA DE LUBRICACION	19	66%	66%
ESTRUCTURA	4	14%	80%
FALLA TENSION	3	10%	90%
FALLA MOTRIZ (GENERAL)	2	7%	97%
FALLA ALINEACION	1	3%	100%
<b>TOTAL</b>	<b>29</b>	<b>100%</b>	

Considerando los antecedentes de la tabla 21, se observa que la falla más recurrente que presentó esta cinta es el problema de lubricación con 19 apariciones presentando un porcentaje del 66% del total de las fallas. Luego le siguen falla de estructura, falla motriz, falla eléctrica y falla de alineación con 4, 3, 2, y 1 apariciones presentando un porcentaje relativo de 14%, 10%, 7% y 3% respectivamente, cifras bastante más bajas con respecto a la más recurrente, lo que en términos de detenciones es un buen indicativo.

Luego se realizó el diagrama de Pareto con la finalidad de visualizar en forma gráfica la distribución de las fallas y de esta forma identificar las fallas más críticas o vitales (importantes) y los triviales (poca importancia), según definición con respecto a la totalidad de las fallas del equipo (Figura 18).



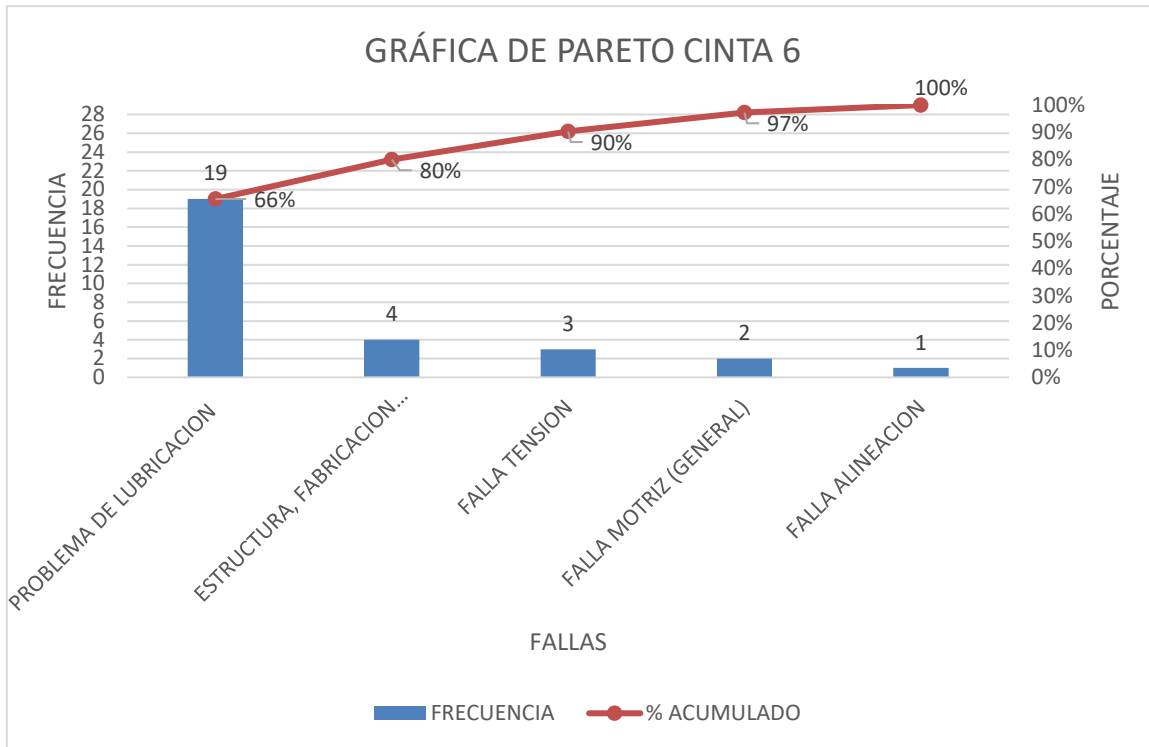


Figura 18: Gráfica de Pareto cinta 6. (Elaboración propia)

Respecto a la figura 18, se visualiza que las fallas más críticas para esta cinta es el problema de lubricación y falla de alineación que sumados sus porcentajes de ocurrencia llegan al 80% del total de las fallas o detenciones y tal como dice la regla de Pareto “Que el 20% de las causas generan el 80 % de las consecuencias o efectos”, en este caso en particular se da que el 40% de las fallas o causas (problema de lubricación y falla de alineación) generan justo el 80% de las consecuencias o detenciones, pero en este caso solo se cumple una de estas condiciones debido a que la cantidad de causas es baja por ende abarca más del 20%, pero sigue la tendencia o la regla de Pareto (20% - 80%). Considerando lo anteriormente mencionado, a estas dos causas mencionadas anteriormente denominadas como vitales (mayor importancia) son a las que mayor énfasis se les debe dar debido a que contienen los valores más alto de detenciones. Es por ello que la finalidad es reducir este índice de detención y así tener una mejora continua en la producción. Mientras que las causas restantes son denominadas como triviales (“menor importancia”) en el contexto de cuantificar los tipos de fallas, ya que, estas últimas pueden ser más graves o requieran mayor tiempo de reparación.

### 6.3.8 Análisis de criticidad cinta transportadora 7

Esta cinta presentó un total de 31 fallas durante el periodo de estudio y en la tabla 22 se visualiza su detalle con los respectivos tipos de fallas predominantes, que en este caso son 6 tipos de falla presentes.

Tabla 22: Resumen de fallas cinta 7. (Elaboración propia)

FALLAS PRINCIPALES	FRECUENCIA	% RELATIVO	% ACUMULADO
PROBLEMA DE LUBRICACION	18	58%	58%
FALLA ALINEACION	6	19%	77%
FALLA MOTRIZ (GENERAL)	4	13%	90%
ESTRUCTURA	1	3%	94%
FALLA ELECTRICA	1	3%	97%
CORTE CORREA	1	3%	100%
<b>TOTAL</b>	<b>31</b>	<b>100%</b>	

Considerando los antecedentes de la tabla 22, se observa que la falla más recurrente que presentó esta cinta es el problema de lubricación con 18 apariciones presentando un porcentaje del 58% del total de las fallas, abarcando más de la mitad de las detenciones totales. Luego le siguen falla de alineación, falla motriz, estructura, falla eléctrica y por último corte de correa con 6, 4, 1, 1, y 1 apariciones presentando un porcentaje relativo de 19%, 13%, 3%, 3% y 3% respectivamente, cifras bastante más bajas con respecto a la más recurrente, lo que en términos de detenciones es un buen indicativo.

Posteriormente se realizó el diagrama de Pareto con la finalidad de visualizar en forma gráfica la distribución de las fallas y de esta forma identificar las fallas más críticas o vitales (importantes) y los triviales (poca importancia), según definición con respecto a la totalidad de las fallas del equipo (Figura 19).

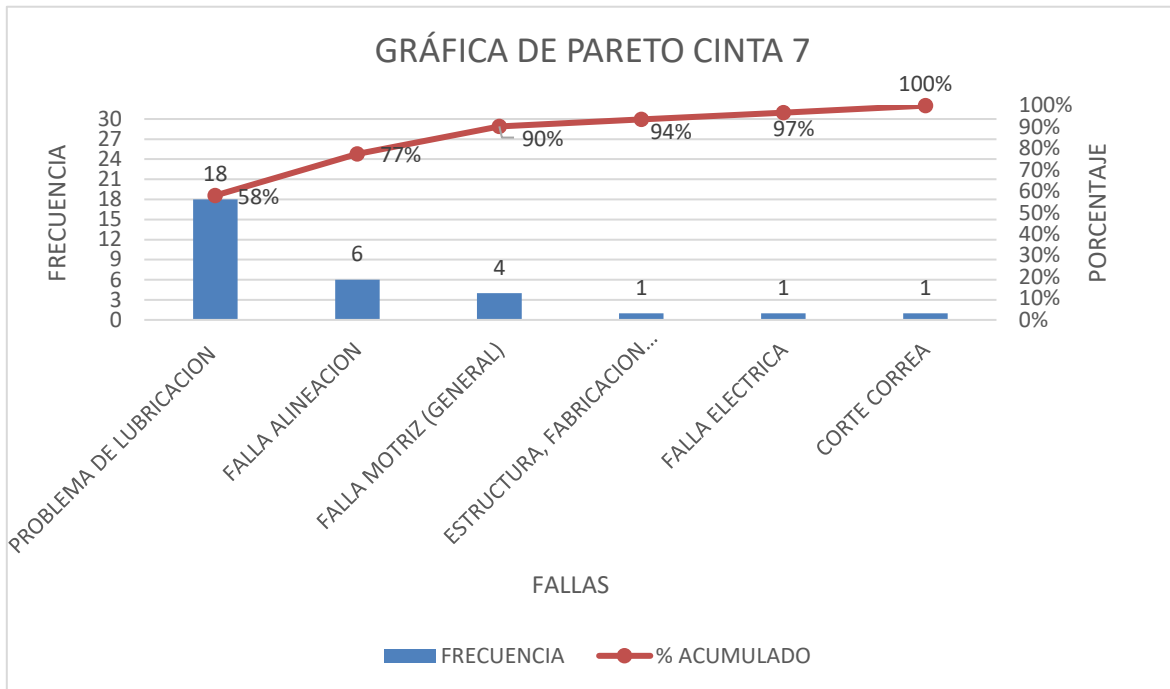


Figura 19: Gráfica de Pareto cinta 7. (Elaboración propia)

Respecto a la figura 19, se visualiza que las fallas más críticas para esta cinta es el problema de lubricación y falla de alineación que sumados sus porcentajes de ocurrencia llegan al 77% del total de las fallas o detenciones y tal como dice la regla de Pareto “Que el 20% de las causas generan el 80 % de las consecuencias o efectos”, en este caso en particular se da que el 33% de las fallas o causas (problema de lubricación y falla de alineación) generan justo el 77% de las consecuencias o detenciones, siendo este valor el que más se acerca al 80% de acuerdo con la regla de Pareto (20% / 80%) en donde la tendencia se aproxima mucho a estos valores. Considerando lo anteriormente mencionado, a estas dos causas mencionadas anteriormente denominadas como vitales (mayor importancia) son a las que mayor énfasis se les debe dar debido a que contienen los valores más alto de detenciones. Es por ello que la finalidad es reducir este índice de detención y así tener una mejora continua en la producción. Mientras que las causas restantes son denominadas como triviales (“menor importancia”) en el contexto de cuantificar los tipos de fallas, ya que, estas últimas pueden ser más graves o requieran mayor tiempo de reparación.

### 6.3.9 Análisis de criticidad cinta transportadora 8

Esta cinta presentó un total de 34 fallas durante el periodo de estudio y en la tabla 23 se visualiza su detalle con los respectivos tipos de fallas predominantes, que en este caso son 6 tipos de falla presentes.

Tabla 23: Resumen de fallas cinta 8. (Elaboración propia)

FALLAS PRINCIPALES	FRECUENCIA	% RELATIVO	% ACUMULADO
PROBLEMA DE LUBRICACION	18	53%	53%
FALLA ALINEACION	7	21%	74%
CORTE CORREA	4	12%	85%
FALLA MOTRIZ (GENERAL)	3	9%	94%
ESTRUCTURA	1	3%	97%
FALLA TENSION	1	3%	100%
<b>TOTAL</b>	<b>34</b>	<b>100%</b>	

Considerando los antecedentes de la tabla 23, se observa que la falla más recurrente que presentó esta cinta es el problema de lubricación con 18 apariciones presentando un porcentaje del 53% del total de las fallas, abarcando más de la mitad de las detenciones totales. Luego le siguen falla de alineación, corte de correa, falla motriz, estructura, y por último falla tensión con 7, 4, 3, 1, y 1 apariciones presentando un porcentaje relativo de 21%, 12%, 9%, 3% y 3% respectivamente, cifras bastante más bajas con respecto a la más recurrente, lo que en términos de detenciones es un buen indicativo.

Posteriormente se realizó el diagrama de Pareto con la finalidad de visualizar en forma gráfica la distribución de las fallas y de esta forma identificar las fallas más críticas o vitales (importantes) y los triviales (poca importancia), según definición con respecto a la totalidad de las fallas del equipo (Figura 20).

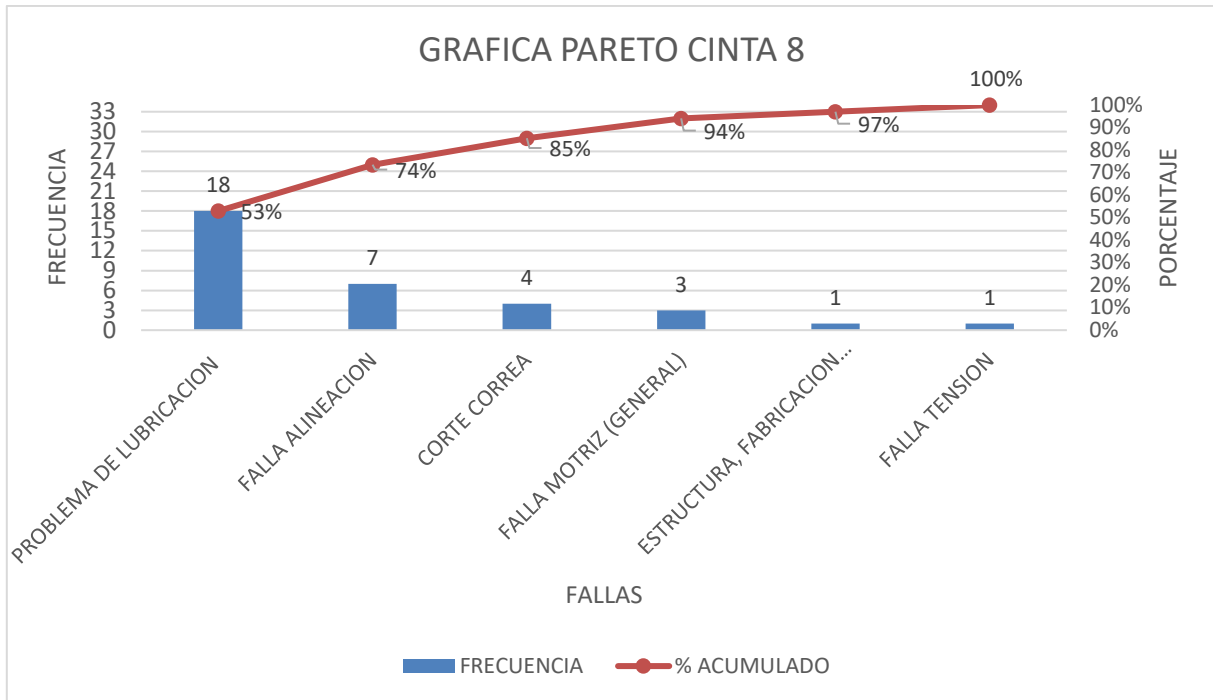


Figura 20: Gráfica de Pareto cinta 8. (Elaboración propia)

Respecto a la figura 20, se visualiza que las fallas más críticas para esta cinta es el problema de lubricación y falla de alineación que sumados sus porcentajes de ocurrencia llegan al 74% del total de las fallas o detenciones y tal como dice la regla de Pareto “Que el 20% de las causas generan el 80 % de las consecuencias o efectos”, en este caso en particular se da que el 33% de las fallas o causas (problema de lubricación y falla de alineación) generan el 74% de las consecuencias o detenciones, siendo este valor el que más se acerca al 80% de acuerdo con la regla de Pareto (20% / 80%) en donde la tendencia se aproxima mucho a estos valores. Considerando lo anteriormente mencionado, a estas dos causas mencionadas anteriormente denominadas como vitales (mayor importancia) son a las que mayor énfasis se les debe dar debido a que contienen los valores más alto de detenciones. Es por ello que la finalidad es reducir este índice de detención y así tener una mejora continua en la producción. Mientras que las causas restantes son denominadas como triviales (“menor importancia”) en el contexto de cuantificar los tipos de fallas, ya que, estas últimas pueden ser más graves o requieran mayor tiempo de reparación. Además de acuerdo con los resultados obtenidos esta es la

cinta transportadora que presentó más fallas en el periodo de estudio, es decir, es la más críticas de todas.

Una vez analizada las fallas más críticas de las 9 cintas transportadoras en estudio se determinó que la falla más recurrente en todas estas es el **Problema de lubricación**, sobresaliendo su frecuencia y porcentaje relativo considerablemente con respecto a las demás fallas o causas en donde abarcó en todas las cintas más del 50% de las detenciones, convirtiéndose en una falla vital o crítica a la cual hay que darle el mayor énfasis para solucionarlas o disminuir su frecuencia y así mejorar considerablemente el rendimiento de las cintas. Esto se debe a que las cintas en general transportan material que contiene mineral con diferentes granulometrías dependiendo del circuito de chancado (primario, secundario y terciario) por el que pasa el material. En cuanto al chancador primario la granulometría resultante es de 2 a 3 pulgadas de espesor, en el secundario la granulometría resultante es de 1 a 3/4 pulgadas y en el terciario la granulometría resultante es de 3/4 a 3/8 pulgadas (bajo la malla media) hasta quedar un material fino que llega hasta la pila de acopio. En relación con lo anterior suele producirse polución (partículas de polvo en suspensión) o filtración de partículas que provocan un desgaste más efímero en las partes móviles de las cintas por lo que al mezclarse con los agentes lubricantes pierden sus propiedades y el funcionamiento no es óptimo lo que va generando detenciones o fallas en sus partes móviles por no mantenerse una buena lubricación. Además, al generarse problemas de lubricación, las partes móviles (rodamientos principalmente) de las cintas van disminuyendo su vida útil arraigando problemas de mayor envergadura con el tiempo. Es por ello que se recomienda un plan de mantenimiento preventivo con la finalidad de realizar inspecciones periódicas a fin de disminuir este tipo de detenciones que afectan en la producción y genera mayores costos de mantenimiento.

Los tipos de fallas restantes generaron detenciones con una frecuencia mucho menor lo que es un buen indicio al momento de hablar de mantenciones, pero no menos importantes ya que algunas presentan una mayor gravedad, mayor tiempo

de detección o mayores tiempos de reparación. Es por ello que se ha decidido elegir las dos cintas que se vieron más afectadas o críticas en cuanto a detenciones y realizarles un estudio adicional llamado “Análisis de modos y efectos de falla” con la finalidad de identificar más profundamente los modos y efectos de falla para así tener una idea más general para diseñar el plan de mantenimiento preventivo.

De acuerdo con el análisis de criticidad realizado anteriormente las dos cintas más críticas resultantes son la cinta 8 y cinta 1A (Tabla 24).

*Tabla 24: Cintas críticas según análisis de criticidad. (Elaboración propia)*

Cintas transportadoras críticas	Fallas totales	Función
Cinta 8	34	Transporta y alimenta material fino desde acopio hasta molino de bolas
Cinta 1A	33	Transporta material post chancado primario

#### 6.4 Disponibilidad de las cintas transportadoras

Este es uno de los índices más importantes para el buen funcionamiento y rendimiento de los equipos al momento de producir, es por esto, que es de vital importancia mantener niveles de porcentaje de disponibilidad mayores o iguales al 85% como requisito mínimo para trabajar de forma eficiente, es decir, a mayor disponibilidad se puede producir más y mayor es el rendimiento sobre los activos.

Para la disponibilidad resultante (mensual) de cada cinta transportadora se calcularon los siguientes parámetros:

- Horas totales: Multiplicación que considera los días de cada mes (febrero a diciembre 2020) y las horas del turno productivo (12 horas).
- Número de fallas por mes: obtenidas del historial de falla de cada cinta Anexo 2.

- Tiempo medio entre falla (MTBF): calculado a partir de la ecuación (4).
- Tiempo medio de reparación (MTTR): obtenido del historial de fallas de cada cinta Anexo 2.
- % Disponibilidad, calculado a partir de la ecuación (3).

#### 6.4.1 Resumen cálculo disponibilidad cinta 1A

Para el cálculo de las disponibilidades se recopilamos los parámetros anteriores los cuales fueron ingresados en una planilla Excel para hacer más dinámicos y flexibles sus resultados. Para este caso se calcula en base al mes de febrero de 2020.

##### 6.4.1.1 Memoria de cálculo

Donde:

- Horas totales mensuales

$$\begin{aligned} \text{Horas totales} &= \text{Dias mes} * \text{horas turno} \\ \text{Horas totales} &= 29 \text{ dias/mes} * 12 \text{ horas/dia} \\ \mathbf{\text{Horas totales}} &= \mathbf{348 \text{ horas/mes}} \end{aligned}$$

- Número de fallas por mes: **4 fallas** registradas
- Tiempo medio entre falla (MTBF):

Horas inactividad: 5.83 horas/mes por reparaciones

$$\begin{aligned} \text{MTBF} &= \frac{348 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} - 5.83 \text{ horas/mes}}{4} \\ \mathbf{\text{MTBF}} &= \mathbf{85.5 \text{ horas}} \end{aligned}$$

- Tiempo medio de reparación (MTTR): **5.83 horas** en reparación.



- % Disponibilidad:

$$\% \text{ Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100$$

$$\% \text{ Disponibilidad} = \frac{85.5 \text{ horas}}{85.5 \text{ horas} + 5.83 \text{ horas}}$$

$$\% \text{ Disponibilidad} = 93.6 \%$$

De forma análoga se calcula la disponibilidad para esta y las otras cintas contemplando los meses restantes de estudio. Quedando de la siguiente forma (Tabla 25)

Tabla 25: Resumen disponibilidad mensual cinta 1A. (Elaboración propia)

MES	HORAS TOTALES	NÚMERO DE FALLAS	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD
FEBRERO	348	4.00	85.5	5.83	93.6%
MARZO	372	3.00	122.2	5.33	95.8%
ABRIL	360	3.00	119.2	2.33	98.1%
MAYO	372	3.00	123.2	2.33	98.1%
JUNIO	360	2.00	178.4	3.17	98.3%
JULIO	372	0.00	0.00	0.00	100.0%
AGOSTO	372	5.00	72.3	10.50	87.3%
SEPTIEMBRE	360	6.00	59.1	5.50	91.5%
OCTUBRE	372	3.00	123.9	0.17	99.9%
NOVIEMBRE	360	2.00	179.8	0.33	99.8%
DICIEMBRE	372	2.00	185.8	0.33	99.8%

Tal como se mencionó anteriormente el porcentaje ideal de disponibilidad es igual o sobre el 85% para un óptimo funcionamiento en donde se cumple esta condición en cada uno de los meses en estudio. El mes más bajo en disponibilidad fue agosto debido a que se presentaron 5 fallas que requirieron un gran tiempo medio en reparaciones (fallas más graves), pero de cierta forma se puede lograr

una mayor eficiencia en el proceso productivo si las fallas y horas de detención se reducen o se detectan con anticipación por medio de revisiones periódicas.

#### 6.4.2 Resumen cálculo disponibilidad cinta 1B

Para esta cinta se hizo el cálculo mensual de disponibilidad considerando los datos visualizados en la tabla 26.

Tabla 26: Resumen disponibilidad mensual cinta 1B. (Elaboración propia)

MES	HORAS TOTALES	NÚMERO DE FALLAS	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD
FEBRERO	348	4.00	85.7	5.33	94.1%
MARZO	372	3.00	122.1	5.83	95.4%
ABRIL	360	3.00	119.2	2.33	98.1%
MAYO	372	3.00	123.2	2.33	98.1%
JUNIO	360	2.00	178.4	3.17	98.3%
JULIO	372	0.00	0.0	0.00	100.0%
AGOSTO	372	5.00	72.3	10.33	87.5%
SEPTIEMBRE	360	6.00	59.7	1.50	97.5%
OCTUBRE	372	2.00	185.8	0.33	99.8%
NOVIEMBRE	360	3.00	119.6	1.33	98.9%
DICIEMBRE	372	2.00	185.8	0.33	99.8%

Según la tabla 26 para esta cinta se cumple la condición (mayor o igual al 85%) en cada uno de los meses en estudio. El mes más bajo en disponibilidad fue agosto debido a que se presentaron 5 fallas que demandaron un gran tiempo medio en reparaciones (fallas más graves) ya que este índice afecta directamente al resultado de disponibilidad, es decir, mientras más alto es el valor de MTTR menor será su disponibilidad.

#### 6.4.3 Resumen cálculo disponibilidad cinta 2

Para esta cinta se hizo el cálculo mensual de disponibilidad considerando los datos visualizados en la tabla 27.

Tabla 27: Resumen disponibilidad mensual cinta 2. (Elaboración propia)

MES	HORAS TOTALES	NÚMERO DE FALLAS	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD
FEBRERO	348	3.00	114.2	5.33	95.5%
MARZO	372	4.00	91.6	5.50	94.3%
ABRIL	360	2.00	179.8	0.33	99.8%
MAYO	372	3.00	123.2	2.33	98.1%
JUNIO	360	2.00	178.4	3.17	98.3%
JULIO	372	0.00	0.0	0.00	100.0%
AGOSTO	372	1.00	371.8	0.17	99.9%
SEPTIEMBRE	360	3.00	119.8	0.50	99.6%
OCTUBRE	372	2.00	185.8	0.33	99.8%
NOVIEMBRE	360	3.00	119.6	1.33	98.9%
DICIEMBRE	372	2.00	185.8	0.33	99.8%

Según la tabla 27 para esta cinta se cumple la condición (mayor o igual al 85%) en cada uno de los meses en estudio. Esta cinta arrojó valores muy buenos de disponibilidad ya que presentó menos fallas con tiempos de reparación bajos. De cierta forma estos valores pueden seguir mejorándose.

#### 6.4.4 Resumen cálculo disponibilidad cinta 3

Para esta cinta se hizo el cálculo mensual de disponibilidad considerando los datos visualizados en la tabla 28.

Tabla 28: Resumen disponibilidad mensual cinta 3. (Elaboración propia)

MES	HORAS TOTALES	NÚMERO DE FALLAS	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD
FEBRERO	348	4.00	85.6	5.50	94.0%
MARZO	372	4.00	91.6	5.50	94.3%
ABRIL	360	2.00	179.8	0.33	99.8%
MAYO	372	3.00	123.2	2.33	98.1%
JUNIO	360	2.00	178.4	3.17	98.3%
JULIO	372	0.00	0.0	0.00	100.0%
AGOSTO	372	1.00	371.8	0.17	99.9%
SEPTIEMBRE	360	3.00	119.8	0.50	99.6%
OCTUBRE	372	2.00	185.8	0.33	99.8%
NOVIEMBRE	360	3.00	119.6	1.33	98.9%
DICIEMBRE	372	2.00	185.8	0.33	99.8%

Según la tabla 28 para esta cinta se cumple la condición (mayor o igual al 85%) en cada uno de los meses en estudio. Esta cinta arrojó valores muy buenos de disponibilidad, ya que, presentó menos fallas con tiempos de reparación bajos. De cierta forma estos valores pueden seguir mejorándose.

#### 6.4.5 Resumen cálculo disponibilidad cinta 4

Para esta cinta se hizo el cálculo mensual de disponibilidad considerando los datos visualizados en la tabla 29.

*Tabla 29: Resumen disponibilidad mensual cinta 4. (Elaboración propia)*

MES	HORAS TOTALES	NÚMERO DE FALLAS	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD
FEBRERO	348	3.00	114.2	5.33	95.5%
MARZO	372	3.00	122.2	5.33	95.8%
ABRIL	360	2.00	179.8	0.33	99.8%
MAYO	372	3.00	123.2	2.33	98.1%
JUNIO	360	2.00	178.4	3.17	98.3%
JULIO	372	0.00	0.0	0.00	100.0%
AGOSTO	372	1.00	371.8	0.17	99.9%
SEPTIEMBRE	360	4.00	89.4	2.50	97.3%
OCTUBRE	372	2.00	185.8	0.33	99.8%
NOVIEMBRE	360	2.00	179.8	0.33	99.8%
DICIEMBRE	372	4.00	92.0	3.83	96.0%

Según la tabla 29 para esta cinta se cumple la condición (mayor o igual al 85%) en cada uno de los meses en estudio. Esta cinta arrojó valores muy buenos de disponibilidad, ya que, presentó menos fallas con tiempos de reparación bajos. De cierta forma estos valores pueden seguir mejorándose.

#### 6.4.6 Resumen cálculo disponibilidad cinta 5

Para esta cinta se hizo el cálculo mensual de disponibilidad considerando los datos visualizados en la tabla 30.

Tabla 30: Resumen disponibilidad mensual cinta 5. (Elaboración propia)

MES	HORAS TOTALES	NÚMERO DE FALLAS	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD
FEBRERO	348	3.00	114.2	5.33	95.5%
MARZO	372	5.00	72.5	9.33	88.6%
ABRIL	360	2.00	179.8	0.33	99.8%
MAYO	372	3.00	123.2	2.33	98.1%
JUNIO	360	2.00	178.4	3.17	98.3%
JULIO	372	0.00	0.0	0.00	100.0%
AGOSTO	372	1.00	371.8	0.17	99.9%
SEPTIEMBRE	360	3.00	119.8	0.50	99.6%
OCTUBRE	372	2.00	185.8	0.33	99.8%
NOVIEMBRE	360	2.00	179.8	0.33	99.8%
DICIEMBRE	372	4.00	91.8	4.83	95.0%

Según la tabla 30 para esta cinta se cumple la condición (mayor o igual al 85%) en cada uno de los meses en estudio. El mes más bajo en disponibilidad fue marzo debido a que se presentaron 5 fallas que demandaron un mayor tiempo medio en reparaciones (fallas más graves) ya que este índice afecta directamente al resultado de disponibilidad, es decir, mientras más alto es el valor de MTTR menor será su disponibilidad. Considerando lo anterior una buena forma de elevar estos índices de disponibilidad es realizar inspecciones periódicas de forma de evitar que los componentes fallen y generen detenciones.

#### 6.4.7 Resumen cálculo disponibilidad cinta 6

Para esta cinta se hizo el cálculo mensual de disponibilidad considerando los datos visualizados en la tabla 31.

Tabla 31: Resumen disponibilidad mensual cinta 6. (Elaboración propia)

MES	HORAS TOTALES	NÚMERO DE FALLAS	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD
FEBRERO	348	3.00	114.2	5.33	95.5%
MARZO	372	3.00	122.2	5.33	95.8%
ABRIL	360	2.00	179.8	0.33	99.8%
MAYO	372	3.00	123.2	2.33	98.1%
JUNIO	360	2.00	178.4	3.17	98.3%
JULIO	372	0.00	0.0	0.00	100.0%
AGOSTO	372	1.00	370.0	2.00	99.5%
SEPTIEMBRE	360	5.00	71.7	1.67	97.7%
OCTUBRE	372	4.00	92.2	3.33	96.5%
NOVIEMBRE	360	2.00	179.4	1.17	99.4%
DICIEMBRE	372	3.00	123.6	1.33	98.9%

Según la tabla 31 para esta cinta se cumple la condición (mayor o igual al 85%) en cada uno de los meses en estudio. Esta cinta arroja valores muy buenos de disponibilidad, ya que, presentó menos fallas con tiempos de reparación más bajos. De cierta forma estos valores pueden seguir mejorándose con un plan de mantenimiento preventivo.

#### 6.4.8 Resumen cálculo disponibilidad cinta 7

Para esta cinta se hizo el cálculo mensual de disponibilidad considerando los datos visualizados en la tabla 32.

Tabla 32: Resumen disponibilidad mensual cinta 7. (Elaboración propia)

MES	HORAS TOTALES	NÚMERO DE FALLAS	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD
FEBRERO	348	2.00	173.8	0.33	99.8%
MARZO	372	2.00	185.8	0.33	99.8%
ABRIL	360	4.00	88.7	5.33	94.3%
MAYO	372	7.00	52.1	7.08	88.0%
JUNIO	360	2.00	178.4	3.17	98.3%
JULIO	372	1.00	370.0	2.00	99.5%
AGOSTO	372	2.00	183.5	5.00	97.3%
SEPTIEMBRE	360	3.00	119.8	0.50	99.6%
OCTUBRE	372	2.00	185.8	0.33	99.8%
NOVIEMBRE	360	4.00	88.8	4.83	94.8%
DICIEMBRE	372	2.00	185.8	0.33	99.8%

Según la tabla 32 para esta cinta se cumple la condición (mayor o igual al 85%) en cada uno de los meses en estudio. El mes más bajo en disponibilidad fue mayo debido a que se presentaron 7 fallas que demandaron un mayor tiempo medio en reparaciones, ya que, este índice afecta directamente al resultado de disponibilidad, es decir, mientras más alto es el valor de MTTR menor será su disponibilidad. Considerando lo anterior una buena forma de elevar estos índices de disponibilidad es realizar inspecciones periódicas de forma de evitar que los componentes fallen y generen detenciones.

#### 6.4.9 Resumen cálculo disponibilidad cinta 8

Para esta cinta se hizo el cálculo mensual de disponibilidad considerando los datos visualizados en la tabla 33.

Tabla 33: Resumen disponibilidad mensual cinta 8. (Elaboración propia)

MES	HORAS TOTALES	NÚMERO DE FALLAS	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD
FEBRERO	348	4.00	86.3	2.83	96.8%
MARZO	372	2.00	185.8	0.33	99.8%
ABRIL	360	4.00	88.7	5.33	94.3%
MAYO	372	5.00	73.1	6.33	92.0%
JUNIO	360	2.00	178.4	3.17	98.3%
JULIO	372	1.00	370.0	2.00	99.5%
AGOSTO	372	2.00	185.5	1.00	99.5%
SEPTIEMBRE	360	6.00	59.3	4.00	93.7%
OCTUBRE	372	2.00	185.8	0.33	99.8%
NOVIEMBRE	360	4.00	89.8	0.67	99.3%
DICIEMBRE	372	2.00	185.8	0.33	99.8%

Según la tabla 33 para esta cinta se cumple la condición (mayor o igual al 85%) en cada uno de los meses en estudio. Esta cinta arrojo valores muy buenos de disponibilidad a pesar de ser una de las cintas más críticas en el análisis de criticidad presentando 34 fallas en total. Lo rescatable de esto es que, a pesar de tener el mayor número de fallas, estas fueron leves en cuanto a tiempo de reparación por lo que no afectó considerablemente a la disponibilidad del equipo.

A modo general las cintas transportadoras presentan buenas disponibilidades, ya que, todas superan el umbral del 85% mínimo requerido. Lo que es un buen indicador para el área de mantenimiento debido a que las cintas logran estar disponibles en la mayor parte del tiempo productivo. Además, la empresa está con proyectos de procesar una mayor cantidad de tonelaje (5.000 a 10.000 toneladas por mes) por lo que las cintas deberán trabajar a mayores esfuerzos para lograr los niveles de producción requeridos. Esto implica que es de suma importancia implementar un plan de mantenimiento preventivo para que estos índices no decaigan afectando el rendimiento de la planta de conminución.



## 6.5 Análisis de modos y efectos de falla (AMEF)

Para el desarrollo de este tipo de análisis es necesario seguir a cabalidad los pasos que se indican en el punto 4.6 mencionado anteriormente con la finalidad de realizar un estudio detallado y eficiente. Este estudio es realizado a las dos cintas más críticas resultantes del estudio de criticidad detalladas en la tabla 24. Cabe destacar que los componentes y subcomponentes de ambas cintas son similares con las mínimas diferencia de longitud e inclinación, ya que, cumplen la misma función de transportar y depositar mineral de un punto a otro. Para la recopilación de la información solicitada para este análisis se realizó una entrevista al profesional encargado del área de mantenimiento “Fernando Hernández” quien es el encargado de la revisión y mantenciones de las cintas transportadoras de la planta de conminución en conjunto con su equipo de trabajo (Hernández, 2021) .

### 6.5.1 AMEF cinta 8

#### a) Contexto operacional

El contexto operacional responde a las interrogantes que surgen sobre la utilización en una operación normal del sistema en evaluación, el cual en un turno productivo normal opera bajo las siguientes características:

#### ¿Cómo es utilizado el equipo?

- Tipo de proceso: Intermitente para carga a granel (toneladas).
- Intensidad de operaciones: Turnos productivos de 12 horas, 1 vez al día, 7 días a la semana.

#### ¿Dónde es utilizado?

- En planta de chancado
- Temperatura de operación promedio 15°C todo el año.

### **Estándares de desempeño requerido.**

- Se espera que opere a 10 m/min, transportando 200 a 250 toneladas/diarias.
- Sus componentes en contacto directo con el mineral no deben provocar una modificación inaceptable de la composición del material transportado.

### **Criterios de respaldo**

- Política de repuestos indica que se debe esperar a la falla o cambiar frente al desgaste dependiendo del componente. Para ello se realizan inspecciones visuales.
- Se mantienen algunos repuestos en bodega para atender fallas imprevistas de la cinta.

### **b) Descripción del equipo y subsistemas**

En la tabla 34 se indica la descripción del equipo y subsistemas una de las cintas (final, alimentación molinos de bolas) de transporte de mineral utilizada en la planta de conminución de proyecto Chépica. La cinta número 8 recibe el material de las tolvas de fino del acopio para lograr transportar y depositar el material en los bozones o chutes que alimentan a los molinos de bolas. La figura 21 ilustra una vista lateral de la cinta 8 y la figura 22 ilustra una vista frontal de la cinta 8.



*Figura 21: Cinta 8 vista lateral. (Elaboración propia)*



Figura 22: Cinta 8 vista frontal. (Elaboración propia)

Tabla 34: Componentes cinta 8. (Elaboración propia)

NIVEL 1 "SISTEMA"	CODIGO	NIVEL 2 SUB SISTEMA	#	NIVEL 3 COMPONENTE
CINTA DE ALIMENTACION MOLINOS DE BOLAS "CINTA N° 8"	BA	BASTIDOR	1	ESTRUCTURA PRINCIPAL SOPORTE
			2	GUIAS DE APOYO
	CT	CINTA TRANSPORTADORA GENERAL	1	BANDA
			2	EJE MOTRIZ
			3	ENGRANAJE MOTRIZ
			4	MOTO-REDUCTOR
			5	SOPORTE RECORRIDO
			6	EJE CONDUcido
			7	RODILLOS DE RETORNO
			8	TENSORES
	9	GUARDERAS		
	10	RASPADORES		
	RP	REDUCTOR DE PÉNDULO	-	-
BE	BOTONERA EMERGENCIA	1	BOTONERA	

### c) Funciones del sistema

Se describen las funciones principales y secundarias del sistema en su contexto operacional, ya que el objetivo final es preservar estas funciones a estándares de desempeño aceptables.

Las funciones identificadas para la cinta son las numeradas a continuación donde la función número 1 corresponde a la función principal y el resto a las secundarias:

- 1) Transportar y depositar material mineral.
- 2) Permitir un transporte que no dañe al material transportado.
- 3) Deslizar la banda y mantenerla centrada
- 4) Proveer una estructura de transporte que garantice la integridad del material y seguridad del personal
- 5) Contar con parada de emergencia. Cabe destacar que solo se consideraron las funciones relacionadas con el equipo, dejando fuera las relacionadas con el desempeño del personal.

#### **d) AMEF**

Ya definido lo anterior se procede a realizar el AMEF propiamente tal utilizando la herramienta que se detalla en la tabla 13, cuyo desarrollo para la cinta 8 se encuentra en el Anexo 3. Para el cálculo del índice NPR se utilizó la ecuación (2) y cabe mencionar que un NPR menor a 80 se considera riesgo normal y NPR mayor o igual a 80 se considera de alto riesgo para el funcionamiento del sistema en cuyo caso se requiere de cambios en el diseño.

## 6.5.2 AMEF cinta 1A

### a) Contexto operacional

El contexto operacional responde a las interrogantes que surgen sobre la utilización en una operación normal del sistema en evaluación, el cual en un turno productivo normal opera bajo las siguientes características:

#### ¿Cómo es utilizado el equipo?

- Tipo de proceso: Intermitente para carga a granel (toneladas).
- Intensidad de operaciones: Turnos productivos de 12 horas, 1 vez al día, 7 días a la semana.

#### ¿Dónde es utilizado?

- En planta de chancado
- Temperatura de operación promedio 15°C todo el año.

#### Estándares de desempeño requerido.

- Se espera que opere a 10 m/min, transportando 200 a 250 toneladas/diarias.
- Sus componentes en contacto directo con el mineral no deben provocar una modificación inaceptable de la composición del material transportado.

#### Criterios de respaldo

- Política de repuestos indica que se debe esperar a la falla o cambiar frente al desgaste dependiendo del componente. Para ello se realizan inspecciones visuales.

- Se mantienen algunos repuestos en bodega para atender fallas imprevistas de la cinta.

## **b) Descripción del equipo y subsistemas**

En la tabla 35 se indica la descripción del equipo y subsistemas una de la cinta (Inicial, post chancado primario) de transporte de mineral utilizada en la planta de conminución de proyecto Chépica. La cinta número 1A recibe el material fragmentado del chancador primario de mandíbula (entrega fragmentos de 2 a 3 pulgadas de espesor) cuyo objetivo es transportar y depositar el material en la cinta 1B para que se cumpla con el circuito final que es alimentar los molinos de bolas. La figura 23 muestra una vista frontal de la cinta 1A.



*Figura 23: Vista frontal cinta 1A. (Elaboración propia)*

Tabla 35: Componentes cinta 1A. (Elaboración propia)

NIVEL 1 "SISTEMA"	CODIGO	NIVEL 2 SUB SISTEMA	#	NIVEL 3 COMPONENTE
CINTA DE TRANSPORTE POST CHANCADO PRIMARIO "CINTA N° 1A"	BA	BASTIDOR	1	ESTRUCTURA PRINCIPAL SOPORTE
			2	GUIAS DE APOYO
	CT	CINTA TRANSPORTADORA GENERAL	1	BANDA
			2	EJE MOTRIZ
			3	ENGRANAJE MOTRIZ
			4	MOTO-REDUCTOR
			5	SOPORTE RECORRIDO
			6	EJE CONDUcido
			7	RODILLOS DE RETORNO
			8	TENSORES
	9	GUARDERAS		
	10	RASPADORES		
	RP	REDUCTOR DE PÉNDULO	-	-
	BE	BOTONERA EMERGENCIA	1	BOTONERA

### c) Funciones del sistema

Se describen las funciones principales y secundarias del sistema en su contexto operacional, ya que el objetivo final es preservar estas funciones a estándares de desempeño aceptables.

Las funciones identificadas para la cinta son las numeradas a continuación donde la función número 1 corresponde a la función principal y el resto a las secundarias:

- 1) Transportar y depositar material mineral.
- 2) Permitir un transporte que no dañe al material transportado.
- 3) Deslizar la banda y mantenerla centrada
- 4) Proveer una estructura de transporte que garantice la integridad del material y seguridad del personal
- 5) Contar con parada de emergencia.

Nota: Cabe destacar que solo se consideraron las funciones relacionadas con el equipo, dejando fuera las relacionadas con el desempeño del personal.

#### d) AMEF

Ya definido lo anterior se procede a realizar el AMEF propiamente tal utilizando la herramienta que se detalla en la tabla 13, cuyo desarrollo para la cinta 1A se encuentra en el Anexo 4. Para el cálculo del índice NPR se utilizó la ecuación (2) y cabe mencionar que un NPR menor a 80 se considera riesgo normal y NPR mayor o igual a 80 se considera de alto riesgo para el funcionamiento del sistema en cuyo caso se requiere de cambios en el diseño.

### 6.5.3 Resultados AMEF Cintas 8 y 1A

Luego del AMEF realizado a las cintas número 8 y 1A, se tiene el siguiente resumen presentado en la Tabla 36 que recopila los resultados para cada sistema en estudio.

Tabla 36: Resumen modos de falla cintas 8 y 1A. (Elaboración propia)

SISTEMA	MODOS DE FALLA	MODOS DE FALLA CRÍTICOS
CINTA 8	24	1
CINTA 1A	24	1

Respecto a los resultados anteriores se mostró que cada cinta presenta un modo de falla crítico que en este caso es el mismo (Botonera de emergencia) donde según el encargado del área de mantenimiento de la planta estas suelen presentar fallas debido a la polución generada en el ambiente por el transporte de material mineral lo que hace que los contactos internos de las botoneras se gripen afectando su correcto funcionamiento. Es por esto que se recomienda un cambio de botonera por una que sea mucho más hermética o colocarle una carcasa o protección externa



con el fin de evitar fallos graves en el sistema en caso de alguna emergencia que pueda afectar a personal de la empresa principalmente y que esta sirva como recubrimiento del sistema de emergencia (Figura 24).



*Figura 24: Carcasa de botonera de emergencia. (FreepikCompany, 2020)*

En general los modos de falla presentes en el AMEF son de fácil detectabilidad por el personal del área de mantenimiento debido a que la mayoría de los modos de fallo suelen generar detenciones o se divisan a simple vista por lo que para el personal de mantenimiento se les facilita la forma de trabajo, aunque no todos los fallos suelen presentarse de la misma forma. Con respecto a los antecedentes recopilados, análisis de criticidad y modos de fallos se elaboró un plan de mantenimiento preventivo para las cintas transportadoras con la finalidad de generar una organización de actividades de mantenimiento que ayuden y faciliten las labores de mantención, de esta forma facilitar la toma de decisiones para el personal del área y reducir considerablemente la frecuencia de fallas resultantes de los equipos en estudio con revisiones periódicas con la finalidad que los componentes sean cambiados antes de que estos presenten fallas o tener evidencia de la vida útil que estos van presentando con el paso del tiempo.

## 6.6 Diseño plan de mantenimiento preventivo

Una vez recopilados todos los antecedentes de fallas de las 9 cintas transportadoras se procede al diseño de un plan de mantenimiento preventivo con la finalidad de organizar y estructurar las actividades de mantenimiento por medio de revisiones periódicas (diarias, semanales, mensuales, semestrales y anuales) dependiendo de la gravedad, ocurrencia y detención de las fallas identificadas a fin de evitar detenciones inesperadas o que los componentes fallen de un momento a otro. De esta forma se tendrá una planificación de mantenimiento más detalladas facilitando las labores y toma de decisiones en el área de mantención de los equipos para tener una producción continua y que las cintas estén disponibles para ser utilizadas la mayor parte del tiempo. Hay que recordar que este plan de mantenimiento será aplicado de forma similar a todas las cintas existentes debido a que sus componentes son similares.

### 6.6.1 Actividades aplicadas al mantenimiento de las cintas

Con respecto a las cintas transportadoras, se deben controlar los siguientes parámetros, para asegurar el correcto funcionamiento, ya que, son los que afectan principalmente en los componentes de las cintas:

- **Lubricación.**

Cumple con la función de reducir el rozamiento y sus consecuencias, mediante la aplicación de un fluido de determinadas características, dado que el rozamiento se produce por el movimiento de una pieza respecto a la otra. Al colocar entre las superficies rozantes o engranes una capa de sustancia lubricante, se logra mejorar la funcionabilidad y permite disminuir el desgaste entre estos.

Una buena lubricación, permite un funcionamiento continuo y eficiente de los equipos mecánicos, con un leve desgaste y sin excesivo estrés o ataque a las partes móviles (rodamientos y engranajes). Cuando falla la lubricación, los componentes

(metálicos) pueden rozar y destruirse unos a los otros, causando daños irreparables y fallo general. **Nota:** Recomendable que esta labor la realice personal calificado.

- **Centrado de material en alimentación.**

El material al ingresar al circuito de cintas post chancado debe ser de manera alineada y homogénea, ya que, si se deposita irregularmente a la cinta esta se desestabiliza perdiendo su centro de equilibrio, ocasionando un deterioro en un extremo al estar en permanente contacto con los polines de alineación o provocar el desmonte de la banda. Para evitar estas malas prácticas el sistema de alimentación debe ser revisado periódicamente para comprobar que el sistema de tamiz no esté obstruido o con alguna pieza faltante.

- **Limpieza bajo cinta.**

La forma de evitar la acumulación de fragmentos de material o sedimentos en la zona inferior de la cinta se debe controlar el correcto funcionamiento de raspadores y de la alineación de la banda en todo el recorrido. Para evitar la acumulación de sedimentos es recomendable según fabricante que se realice una limpieza semanal a la cinta.

- **Cambio de cinta o tramos de la cinta.**

Según antecedentes de la empresa esta labor suele realizarse por empresas externas debido a su alta envergadura y costo. Es necesario un cambio de cinta por un excesivo desgaste o severos daños como cortes o agujeros considerables. En cuanto a los tramos estos suelen ser reparados por el mismo personal de la empresa colocando parches o cociendo con alambres especiales las cintas.

- **Estructura o soporte**

Una buena forma de evitar daños en la estructura es realizar inspecciones constantes a las cintas con el fin de verificar daños visibles como oxidación, pintura, soldaduras, entre otras. A modo de evitar daños severos en la estructura que es el soporte principal de las cintas.

- **Mantenimiento motorreductor o reductor de péndulo.**

El mantenimiento en general pasa por revisar el nivel de aceite, antes de la puesta en marcha. La carcasa tendrá visibles los tapones de llenado, nivel y drenaje del lubricante los que deben estar bien sellados. Además, debe respetarse el tipo de lubricante recomendado por el fabricante, que suele ser el más adecuado a su velocidad, potencia y componentes móviles. Si es que se dispone de reductores de repuesto, estos deben permanecer completamente llenos, del lubricante recomendado, para prevenir la oxidación de los elementos internos, así como, protegidos los acoplamientos.

Nota: cambio de aceite a las 2.000 horas de funcionamiento (recomendable).

- **Alineación de cinta.**

Considerando que la cinta transportadora sigue la alineación de la estructura y de los componentes sobre los que hace su recorrido, es esencial que la propia instalación de transporte se haya alineado con precisión, y que la cinta haya sido ajustada adecuadamente por personal cualificado. Otra forma eficiente para alinear las cintas es la instalación de polines vela que ayudan a centrar y alinear la posición de recorrido de la cinta.

## 6.6.2 Desarrollo del plan de mantenimiento preventivo

- Revisar estado botonera de emergencia
  - Inspección visual interna y externa de la botonera antes del inicio de operaciones a fin de evitar accidentes.
  - Accionamiento de botonera para prueba de seguridad para corroborar estado de funcionalidad.
  
- Revisar estado de suministro eléctrico
  - Inspección visual interna y externa de fuentes de alimentación.
  - Medición de voltaje y amperaje para verificar que estén dentro de la norma.
  
- Liberar tensión en la cinta
  - Se liberará a partir del tensor incorporado en el polín motriz
  
- Limpieza para inspeccionar estructura o soporte
  - Quitar a mano (Equipo en detención), los trozos o restos de material.
  - Limpieza manual o con un aspirador para remover polvo y restos de material
  - Pre lavar con agua (de ser necesario)
  - Enjuagar con agua (de ser necesario)
  
- Inspeccionar estructura considerando soldaduras.
  - Inspección visual, identificando zonas críticas.
  - Revisar daños estructurales, que limiten el funcionamiento, o reduzcan la vida útil de banda transportadora o rodillos.
  
- Verificar estado, de cada uno de los polines de carga y retorno, emitir un registro de cada revisión y dar aviso en caso de algún desperfecto.
  - Idealmente, revisar mecánicamente cada uno de estos, moviéndolos manualmente verificando que no estén trabados.

- Cambiar los polines de carga y retorno, que se encuentren con daño o trabados.
  - Retirar polines y almacenar, en zona previamente designada
  - Incorporar polines abastecidos en zona de repuestos.
  
- Cambiar correas de transmisión del reductor y alinear poleas.
  
- Verificar sistema tensor de la cinta.
  
- Se recomienda reapretar pernos de acuerdo con tablas de torque.
  
- Verificar estado de las guarderas, emitir registro y acordar alcance de los cambios con área de mantenimiento.
  - Revisar pernos que sujetan la guardera.
  - Revisar estado de goma y estimar vida útil de esta.
  
- Cambio de polín motriz. (revisar stock en taller)
  
- Cambio polín cola (revisar stock en taller)
  
- Realizar pruebas dinámicas previas al inicio de las operaciones
  - Verificar alineamiento de rodillos, y que diámetros sean idénticos entre sí.
  - Considerar alineamiento de la cinta.

Con respecto a las consideraciones anteriores se realiza el programa de mantenciones preventivas (Tabla 37), indicando componentes o zonas específicas donde llevar a cabo las mantenciones, en donde se indica la frecuencia y el encargado de realizarlas. Cabe mencionar que este plan de mantenimiento se aplicará de forma similar a todas las cintas en estudio debido a que sus componentes son similares, teniendo diferencias mínimas en su longitud e inclinación en algunos casos. Además, se realizó una planilla de registros de las actividades con el fin de registrar y tener un control de las labores de mantenimiento (Tabla 38).

Tabla 37: Programa de mantenencias preventivas. (Elaboración propia)

<b>PROGRAMA DE MANTENCIÓN CINTAS TRANSPORTADORAS</b>			
<b>N°</b>	<b>Mantenencias preventivas</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Encargado</b>
1	Corroborar que montaje este correcto	Diaria	Mecánico
2	Inspección visual	Diaria	Mecánico
3	Prueba de funcionamiento	Diaria	Supervisor de área
4	Verificar estado de la banda transportadora	Diaria	Mecánico
5	Verificar alineación de la banda	Diaria	Mecánico
6	Revisión botones de emergencia	Diaria	Mecánico o eléctrico
7	Limpieza de escaleras y accesos a cintas	Diaria	Personal en general
8	Revisión de uniones vulcanizadas (banda)	Diaria	Supervisor área
9	Revisión de polines (Dañados)	Semanal	Mecánico
10	Lubricación partes móviles	Semanal	Lubricador o mecánico
11	Revisar estado fuentes de energía (Electricidad)	Semanal	Eléctrico
12	Revisar estado partes móviles	Semanal	Mecánico
13	Verificar estado tambores de cola y cabeza	Semanal	Mecánico
14	Lubricar tensores de banda	Mensual	Lubricador o mecánico
15	Ajuste de Guarderas	Mensual	Mecánico
16	Revisar daños en estructura y pintura	Mensual	Supervisor de área
17	Cambio de aceite a reductores y correas de transmisión	Semestral	Lubricador o mecánico
18	Cambio de rodamientos y reengrase	Semestral	Mecánico
19	Cambio de Guarderas y sujeción	Semestral	Mecánico
20	Limpieza general estructura y revisión visual estructura	Semestral	Mecánico
21	Cambio de correas de transmisión (poleas)	Anual	Mecánico
22	Cambio de retenes en reductor de péndulo (Velocidad)	Anual	Mecánico

Tabla 38: Planilla de registro de labores de mantenimiento. (Elaboración propia)

Programa de mantenimientos preventivos anual												
Periodo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Semanas	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4
Corroborar que montaje este correcto												
Inspección visual												
Prueba de funcionamiento												
Verificar estado de la banda transportadora												
Verificar alineación de la banda												
Revisión botones de emergencia												
Limpieza de escaleras y accesos a cintas												
Revisión de uniones vulcanizadas (banda)												
Revisión de polines (Dañados)												
Lubricación partes móviles												
Revisar estado fuentes de energía (Electricidad)												
Revisar estado partes móviles												
Verificar estado tambores de cola y cabeza												
Lubricar tensores de banda												
Ajuste de Guarderas												
Revisar daños en estructura y pintura												
Cambio de aceite a reductores y correas de												
Cambio de rodamientos y reengrase												
Cambio de Guarderas y sujeción												
Limpieza general estructura y revisión visual estructura												
Cambio de correas de transmisión (poleas)												
Cambio de retenes en reductor de péndulo (Velocidad)												



Adicional al programa de mantenencias preventivas de las cintas transportadoras es esencial hacer pruebas de chequeo previas al arranque y estado operativa “Diariamente”. Para ello se diseñaron pautas para cada una a fin de tener una inspección previa y posterior al funcionamiento óptimo de las cintas en estudio (Tabla 39 y tabla 40). De esta forma tener un registro diario del estado de las cintas.

Tabla 39: Pauta chequeo previo al arranque. (Elaboración propia)

PAUTA CHEQUEO PREVIA AL ARRANQUE		
FECHA:		
REALIZADA POR:		
N°	ACTIVIDAD	ESTADO
1	Comprobar que suministro de energía esté en buen estado	
2	Revisión de limpieza de circuito de cintas	
3	Interruptores de arranque encendidos	
4	Inspección de rodillos de carga y descarga	
5	Cintas aptas para el funcionamiento	
6	Zonas de seguridad expeditas	

Tabla 40: Pauta chequeo en operación. (Elaboración propia)

PAUTA CHEQUEO EN OPERACIÓN		
FECHA:		
REALIZADA POR:		
N°	ACTIVIDAD	ESTADO
1	Circuito de cintas operativos	
2	Funcionamiento de poleas	
3	Reportar el grado de humedad de la banda	
4	Revisar alineación de la banda	
5	Inspección visual de la banda	
6	Inspección del recorrido a lo largo de la banda	
7	Inspección botonera de emergencia	

Respecto al programa diseñado, el sistema de cintas de transporte debe funcionar de mejor forma al seguir el plan de mantenciones preventivas a fin de reducir la probabilidad de fallos indeseados con las revisiones periódicas plasmadas. Además, la idea no es que los componentes fallen, si no, que evitar que estos fallen al estar revisándolos constantemente dejando registro del estado en que se encuentran. De esta forma cambiarlos en mantenciones programadas o cuando el equipo no esté en uso para así tener una producción continua sin interrupciones indeseadas. Es esencial que se genere el registro de cada actividad para así facilitar la toma de decisiones para el personal de mantenimiento o para generaciones futuras que formen parte del equipo de trabajo permitiendo llevar un mayor control y planeación sobre el propio mantenimiento para ser aplicado en los equipos. Para generar el registro de las actividades de mantenimiento es recomendable utilizar la misma planilla elaborada para el levantamiento de información (Anexo 1), ya que, contiene información justa y necesaria para plasmar las actividades realizadas de mantención.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El trabajo realizado cumple de forma satisfactoria el objetivo principal, que consistió en diseñar un plan de mantenimiento preventivo para cintas transportadoras de la Mina Chépica para evaluar una mejora en la disponibilidad de los equipos por medio de un levantamiento de información, análisis mediante el método de Pareto (criticidad) y análisis de modos y efectos de falla. Las actividades de mantenimiento, derivadas de este estudio se incorporarán al Programa de Mantenimiento de las cintas transportadoras evaluadas.

Al comienzo de esta memoria de título, no se contaba con ningún registro formal de fallas de las cintas transportadoras debido a que solo se realizaban mantenciones correctivas, es por ello que una de las funciones principales fue realizar un levantamiento de información en un periodo de 11 meses respecto a las fallas que estos equipos presentasen. De esta forma diseñar un plan de mantenimiento preventivo para reducir la frecuencia de fallas y optimizar la disponibilidad de las cintas, debido a que el tiempo empleado en mantenciones afecta directamente en la disponibilidad de estos.

Este levantamiento, fue un diagnóstico de 9 cintas transportadoras que forman parte del circuito de chancado de la planta, en donde se analizaron los componentes de estas y los modos de fallos que se presentaron. De esta forma se generó una base de datos con el historial de fallas en el periodo de estudio que facilitó el análisis de criticidad de Pareto (80-20) arrojando como resultado que la falla más crítica es el problema de lubricación a los componentes abarcando más del 50% de las fallas totales siguiendo una tendencia a este fallo en todas las cintas en estudio. Esto se debe a la poca frecuencia de lubricación y que al transportar material minero se genera polución en el ambiente generando cambios en la composición del lubricante disminuyendo o perdiendo sus propiedades. Además, de las 9 cintas en estudio dos de ellas resultaron ser las más críticas (8 y 1A) es por ello que a estas se les realizó un análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) donde se realizó una descripción

detallada de los componentes, modos y efectos de las fallas para así tener una idea más global para combatir las fallas. Cada falla presentaba una métrica de gravedad, ocurrencia y detectabilidad en donde se puntuaba cada modo de falla. Si el resultado superaba los 80 se considera como de alto riesgo, resultando en ambas cintas el mismo modo de falla de alto riesgo (Botonera de emergencia) según antecedentes entregados por el encargado del área de mantenimiento este sistema presentó fallas en su activación por problemas en los contactos internos y externos de las botoneras debido a la polución en el ambiente. Como solución a este problema de alto riesgo se recomendó colocar una cubierta de acrílico o vidrio a cada botonera con la finalidad de evitar la entrada de polvo que afectara el sistema de detención de emergencia y así resguardar la seguridad del personal.

Se recomienda continuar generando registros de fallas para las cintas transportadoras, con el fin de estandarizar el reporte de la mayoría de las fallas y disponer de información confiable sobre las principales cintas transportadoras de la planta que permita en el futuro realizar análisis estadísticos para optimizar la frecuencia de las tareas de mantenimiento.

Debido a que la empresa está con planes de aumentar su producción de 5.000 a 10.000 toneladas por mes es de suma importancia llevar a cabo el plan de mantenimiento preventivo a futuro, ya que, facilitará la toma de decisiones del personal a cargo, se generará una organización mucho mejor del registro de fallas de la planta para llegar a la producción deseada de forma continua y para resguardar la seguridad del personal presente.

## 8. REFERENCIAS

- Bestratén Belloví, M., Orriols Ramos, R., & Mata París, C. (2004). NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos. AMFE . *Notas técnicas de prevención*, 4-5.
- Carrera Meza, C. F. (2013). *Proposición de un plan de mantenimiento de sistemas de correas transportadoras*. Universidad del Bio Bio, Concepción.
- Chipoco, F. N. (23 de Septiembre de 2016). Descarga de material chute de traspaso.
- Farfán Bertín, F. M. (2014). *Realizar un plan de mantenimiento preventivo a un chancador primario Fuller en division Codelco Andina*. Valdivia: SN.
- FreepikCompany. (27 de Febrero de 2020). *Freepik*. Obtenido de Freepik: [https://www.freepik.es/vector-premium/realista-vector-alarma-boton-rojo-emergencia-cubierta-vidrio\\_5843081.htm](https://www.freepik.es/vector-premium/realista-vector-alarma-boton-rojo-emergencia-cubierta-vidrio_5843081.htm)
- Gattas Beher, F., & Rivas Saldana, F. (2020). *Reporte técnico Proyecto Chépica (Informe interno)*. Minera Paicaví, Penciahue, Chile
- Gehisy. (11 de abril de 2017). *aprendiendocalidadyadr*. Obtenido de aprendiendocalidadyadr:<https://aprendiendocalidadyadr.com/diagrama-de-pareto/#:~:text=Est%C3%A1%20basado%20en%20el%20principio,asignar%20un%20orden%20de%20prioridades>.
- Hernández, F. (28 de Febrero de 2021). Analisis de modos y efectos de falla. (Comunicación)
- Molina Valdovino, D. (2018). *Análisis técnico de correas transportadoras en planta de procesos salmonidos*. Valparaiso: Peumo repositorio digital USM.

Montero Muñoz, A., & Stavros González, N. (2012). *La formalización y control de tiempos (Informe interno)*. Penciahue:,Chile

Ruíz Ortiz, M. (20 de Octubre de 2015). Obtenido de WordPress.com:  
<https://manuelruizortiz.files.wordpress.com/2015/10/20-1.jpeg>

S.A, T. t. (s.f.). *Tip top Argentina*. Obtenido de Tip top Argentina:  
<https://rematiptop.com.ar/category/productos/mantenimiento-de-cintas-transportadoras/guardas-laterales/>

Silva Sanhueza, S. E. (2017). *Plan de mantenimiento para correa transportadora critica en planta de chancado en minera andina*. Viña del Mar: Repositorio Digital USM .

SKF.(s.f).*decmechanico.files*. Obtenido de  
decmechanico.files.wordpress:<https://decmechanico.files.wordpress.com/2010/07/manual-de-rodamientos-skf.pdf>

## 9. ANEXOS

### Anexo 1: Levantamiento de información

Los registros operacionales son de vital importancia para el desarrollo del estudio ya que con ellos se obtiene información específica del funcionamiento de las cintas transportadoras y es posible determinar las fallas que presentan los equipos, horarios de detenciones, número de trabajadores implicados, tiempo empleado en solucionar la falla, etc. Para ello se elaboró una pauta de registros operacionales que son entregadas al personal de mantenimiento que se encargan de anotar en detalle los sucesos y acciones que se llevaron a cabo.


**ORDEN DE TRABAJO** OT N°  
Fecha Emisión: \_\_\_\_\_  
Fecha Término: \_\_\_\_\_

SOLICITANTE: _____ RECURSO: _____ EQUIPO: _____ ASIGNADO: _____	Tipo Normalizado: _____ Estado Operativo: <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Detención Planta: <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
--	---

Horas programado: \_\_\_\_\_  
 Horas programado: \_\_\_\_\_  
 Horas real: \_\_\_\_\_  
 Horas real: \_\_\_\_\_

DESCRIPCION DEL TRABAJO

NOTA: Antes de cerrar la OT todas las tareas aquí nombradas deben estar terminadas.

Map Mantenimiento (Detalles trabajo, tiempo estimado para, costos, causas posibles)

REPERTOS		
Cantidad	Descripción	Comentarios

MANO DE OBRA		
Empleado	Horas trabajadas	Firma

\_\_\_\_\_  
Jefe / Administrador  
Planta

\_\_\_\_\_  
Supervisor  
mantenimiento

Anexo 1: Pauta para levantamiento de información. (Elaboración propia)

## Anexo 2: Historial de fallas (Febrero - Diciembre)

Este historial corresponde a la totalidad de fallas que han presentado las 9 cintas en estudio de la planta de conminución de mineral. Las cuales fueron recopiladas por medio de las pautas de levantamiento de información visualizada en el anexo 1. (Tablas 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48 y 49).

Tabla 41: historial de falla cinta 1A. Fuente: elaboración propia

CINTA 1A		
PERIODO	TIPO FALLA	TIEMPO REPARACIÓN [HR]
05-02-2020	ESTRUCTURA, FABRICACION PROTECCION CINTA(GUARDERAS)	5
21-02-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
25-02-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
27-02-2020	FALLA ELECTRICA	0.5
08-03-2020	ESTRUCTURA, MONTAJE GUARDERAS	5
14-03-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
29-03-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
12-04-2020	FALLA ALINEACION	2
18-04-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
24-04-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
10-05-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
28-05-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
30-05-2020	ESTRUCTURA (SE SOLDA GUARDERA)	2
01-06-2020	FALLA MOTRIZ (TAMBOR DESCARGA)	3
08-06-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
19-08-2020	FALLA MOTRIZ (POLINES VELA)	0.167
20-08-2020	FALLA CORREA (CAMBIO)	8
26-08-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
26-08-2020	FALLA MOTRIZ (GRACERAS EN MAL ESTADO)	0.167
31-08-2020	FALLA ALINEACION	2
02-09-2020	FALLA ALINEACION	2
03-09-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
03-09-2020	FALLA TENSION	1
03-09-2020	FALLA ALINEACION	2
17-09-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
28-09-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
05-10-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
20-10-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
28-10-2020	ESTRUCTURA (SE SOLDA GUARDERA)	2
04-11-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
17-11-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
01-12-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
18-12-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167



Tabla 42: Historial de falla cinta 1B. (Elaboración propia)

CINTA 1B		
PERIODO	TIPO FALLA	TIEMPO REPARACIÓN [HR]
05-02-2020	ESTRUCTURA, FABRICACION PROTECCION CINTA(GUARDERAS)	5
21-02-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
25-02-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
08-03-2020	ESTRUCTURA, MONTAJE GUARDERAS	5
14-03-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
19-03-2020	CORTE CORREA	0.5
29-03-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
12-04-2020	FALLA ALINEACION	2
18-04-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
24-04-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
10-05-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
28-05-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
30-05-2020	ESTRUCTURA (SE SOLDA GUARDERA)	2
01-06-2020	FALLA MOTRIZ (TAMBOR DESCARGA)	3
08-06-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
20-08-2020	FALLA CORREA (CAMBIO)	8
21-08-2020	FALLA MOTRIZ (CAMBIO POLINES VELA)	0.167
26-08-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
31-08-2020	FALLA ALINEACION	2
02-09-2020	FALLA MOTRIZ (POLINES VELA)	0.167
03-09-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
17-09-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
28-09-2020	FALLA TENSION	1
05-10-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
20-10-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
04-11-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
11-11-2020	ESTRUCTURA (INSTALACION RASPADORES)	1
17-11-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
01-12-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
18-12-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167

Tabla 43: Historial de fallas cinta 2. (Elaboración propia)

CINTA 2		
PERIODO	TIPO FALLA	TIEMPO REPARACIÓN [HR]
05-02-2020	ESTRUCTURA, FABRICACION PROTECCION CINTA(GUARDERAS)	5
21-02-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
25-02-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
08-03-2020	ESTRUCTURA, MONTAJE GUARDERAS	5
14-03-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
18-03-2020	FALLA MOTRIZ (ROTURA CORREA TRANSMISION)	0.167
29-03-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
18-04-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
24-04-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
10-05-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
28-05-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
30-05-2020	ESTRUCTURA (SE SOLDA GUARDERA)	2
01-06-2020	FALLA MOTRIZ (TAMBOR DESCARGA)	3
08-06-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
26-08-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
03-09-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
17-09-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
28-09-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
05-10-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
20-10-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
04-11-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
11-11-2020	ESTRUCTURA (INSTALACION RASPADORES)	1
17-11-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
01-12-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
18-12-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167

Tabla 44: Historial de fallas cinta 3. (Elaboración propia)

<b>CINTA 3</b>		
PERIODO	TIPO FALLA	TIEMPO REPARACIÓN [HR]
05-02-2020	ESTRUCTURA, FABRICACION PROTECCION CINTA(GUARDERAS)	5
21-02-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
25-02-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
28-02-2020	FALLA MOTRIZ	0.167
08-03-2020	ESTRUCTURA, MONTAJE GUARDERAS	5
14-03-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
29-03-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
30-03-2020	FALLA MOTRIZ (POLIN GUIA)	0.167
18-04-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
24-04-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
10-05-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
28-05-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
30-05-2020	ESTRUCTURA (SE SOLDA GUARDERA)	2
01-06-2020	FALLA MOTRIZ (TAMBOR DESCARGA)	3
08-06-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
26-08-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
03-09-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
17-09-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
28-09-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
05-10-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
20-10-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
04-11-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
11-11-2020	ESTRUCTURA (INSTALACION RASPADORES)	1
17-11-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
01-12-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
18-12-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167

Tabla 45: Historial de fallas cinta 4. (Elaboración propia)

CINTA 4		
PERIODO	TIPO FALLA	TIEMPO REPARACIÓN [HR]
05-02-2020	ESTRUCTURA, FABRICACION PROTECCION CINTA(GUARDERAS)	5
21-02-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
25-02-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
08-03-2020	ESTRUCTURA, MONTAJE GUARDERAS	5
14-03-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
29-03-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
18-04-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
24-04-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
10-05-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
28-05-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
30-05-2020	ESTRUCTURA (SE SOLDA GUARDERA)	2
01-06-2020	FALLA MOTRIZ (TAMBOR DESCARGA)	3
08-06-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
26-08-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
03-09-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
16-09-2020	FALLA ALINEACION (SE INCLUYERON POLINES VELA)	2
17-09-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
28-09-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
05-10-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
20-10-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
04-11-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
17-11-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
01-12-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
10-12-2020	FALLA MOTRIZ (REPARACION MACHON)	2
18-12-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
23-12-2020	ESTRUCTURA (SE SOLDA SOPORTE CINTA)	1.5

Tabla 46: Historial de fallas cinta 5. (Elaboración propia)

CINTA 5		
PERIODO	TIPO FALLA	TIEMPO REPARACIÓN [HR]
05-02-2020	ESTRUCTURA, FABRICACION PROTECCION CINTA(GUARDERAS)	5
21-02-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
25-02-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
08-03-2020	ESTRUCTURA, MONTAJE GUARDERAS	5
14-03-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
16-03-2020	FALLA MOTRIZ (DESGASTE RODAMIENTOS DESCANSO)	3
16-03-2020	FALLA ELECTRICA (CORDON MOTOR SALIDO DE RAIZ)	1
29-03-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
18-04-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
24-04-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
10-05-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
28-05-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
30-05-2020	ESTRUCTURA (SE SOLDA GUARDERA)	2
01-06-2020	FALLA MOTRIZ (TAMBOR DESCARGA)	3
08-06-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
26-08-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
03-09-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
17-09-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
28-09-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
05-10-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
20-10-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
04-11-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
17-11-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
01-12-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
16-12-2020	FALLA MOTRIZ (RODAMIENTOS)	3
16-12-2020	ESTRUCTURA (DESPLAZAMIENTO ESTRUCTURA)	1.5
18-12-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167

Tabla 47: Historial de fallas cinta 6. (Elaboración propia)

	<b>CINTA 6</b>	
<b>PERIODO</b>	<b>TIPO FALLA</b>	<b>TIEMPO REPARACIÓN [HR]</b>
05-02-2020	ESTRUCTURA, FABRICACION PROTECCION CINTA(GUARDERAS)	5
21-02-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
25-02-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
08-03-2020	ESTRUCTURA, MONTAJE GUARDERAS	5
14-03-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
29-03-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
18-04-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
24-04-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
10-05-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
28-05-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
30-05-2020	ESTRUCTURA (SE SOLDA GUARDERA)	2
01-06-2020	FALLA MOTRIZ (TAMBOR DESCARGA)	3
08-06-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
26-08-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
31-08-2020	FALLA ALINEACION	2
02-09-2020	FALLA MOTRIZ (POLINES VELA)	0.167
03-09-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
17-09-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
28-09-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
30-09-2020	FALLA TENSION	1
01-10-2020	ESTRUCTURA (SE SOLDA GUARDERA)	2
05-10-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
15-10-2020	FALLA TENSION	1
20-10-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
04-11-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
17-11-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
01-12-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
04-12-2020	FALLA TENSION (CORREA)	1
18-12-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167

Tabla 48: Historial de fallas cinta 7. (Elaboración propia)

	CINTA 7	
PERIODO	TIPO FALLA	TIEMPO REPARACIÓN [HR]
21-02-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
25-02-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
14-03-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
29-03-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
05-04-2020	FALLA ALINEACION	2
09-04-2020	ESTRUCTURA (SE SOLDA GUARDERA)	3
18-04-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
24-04-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
05-05-2020	FALLA ELECTRICA	0.25
06-05-2020	FALLA ALINEACION	2
10-05-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
11-05-2020	CORTE CORREA	0.5
20-05-2020	FALLA ALINEACION	2
28-05-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
29-05-2020	FALLA ALINEACION	2
01-06-2020	FALLA MOTRIZ (TAMBOR DESCARGA)	3
08-06-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
30-07-2020	FALLA ALINEACION	2
17-08-2020	FALLA MOTRIZ (CAMBIO MOTO REDUCTOR)	3
17-08-2020	FALLA ALINEACION (SE INCLUYERON POLINES VELA)	2
03-09-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
17-09-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
28-09-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
05-10-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
20-10-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
04-11-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
15-11-2020	FALLA MOTRIZ (FALLÓ TENSOR CINTA)	3
15-11-2020	FALLA MOTRIZ (TAMBOR DE DESCARGA)	1.5
17-11-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
01-12-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
18-12-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167

Tabla 49: Historial de fallas cinta 8. (Elaboración propia)

	CINTA 8	
PERIODO	TIPO FALLA	TIEMPO REPARACIÓN [HR]
21-02-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
25-02-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
26-02-2020	FALLA ALINEACION	2
28-02-2020	CORTE CORREA	0.5
14-03-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
29-03-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
18-04-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
23-04-2020	FALLA ALINEACION	2
23-04-2020	ESTRUCTURA (SE SOLDA GUARDERA)	3
24-04-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
06-05-2020	FALLA ALINEACION	2
10-05-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
20-05-2020	FALLA ALINEACION	2
28-05-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
29-05-2020	FALLA ALINEACION	2
01-06-2020	FALLA MOTRIZ (TAMBOR DESCARGA)	3
08-06-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
30-07-2020	FALLA ALINEACION	2
25-08-2020	CORTE CORREA	0.5
28-08-2020	CORTE CORREA	0.5
03-09-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
08-09-2020	CORTE CORREA	0.5
09-09-2020	FALLA TENSION	1
09-09-2020	FALLA ALINEACION (SE INCLUYERON POLINES VELA)	2
17-09-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
28-09-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
05-10-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
20-10-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
04-11-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
15-11-2020	FALLA MOTRIZ (FALLÓ TENSOR CINTA)	3
15-11-2020	FALLA MOTRIZ (TAMBOR DE DESCARGA)	1.5
17-11-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
01-12-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167
18-12-2020	PROBLEMA DE LUBRICACION	0.167



### Anexo 3: Resultados Análisis de modos y efectos de falla cinta 8

Tabla 50: Resultados análisis de modos y efectos de falla cinta 8. (Elaboración propia)

#	FUNCIÓN	#	FALLA FUNCIONAL	#	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA	CONSECUENCIA DE FALLA	G	O	D	NPR
1	TRANSPORTAR MINERAL A UNA VELOCIDAD DE 10 M/MIN	1	NO TRANSPORTA EL MINERAL	1	SIN FUENTE DE ALIMENTACION	NO CIRCULA MINERAL	NO OPERATIVA	5	1	1	5
				2	ACOPLAMIENTO ROTO	NO CIRCULA MINERAL	NO OPERATIVA	6	2	2	24
				3	ROTURA REDUCTOR	NO CIRCULA MINERAL	NO OPERATIVA	9	2	1	18
				4	ROTURA MOTOR	NO CIRCULA MINERAL	NO OPERATIVA	4	1	5	20
				5	ROTURA BANDA	NO CIRCULA MINERAL	NO OPERATIVA	4	5	1	20
				6	RODAMIENTOS GRIPADOS	NO CIRCULA MINERAL	NO OPERATIVA	2	3	2	12
				7	DESGASTE/ ROTURA TAMBORES	NO CIRCULA MINERAL	NO OPERATIVA	9	1	2	18
		2	VELOCIDAD MAYOR A 10 M/MIN	1	REDUCTOR DE MAL CONFIGURADO	PERDIDA DE TRACCION	OPERATIVA, CINTA NO LOGRA TRANSPORTAR MINERAL	2	1	1	2
		3	VELOCIDAD MENOR A 10 M/MIN	1	SOBRECARGA DE MATERIAL	ACUMULACION DE MINERAL	CUELLO DE BOTELLA EN LA LINEA	4	3	3	36
				2	REDUCTOR DE MAL CONFIGURADO			2	1	1	2
2	EVITAR PERDIDAS DE MINERAL	1	EXISTEN PERDIDAS DE MINERAL	1	GUARDERAS DESGASTADAS	MERMAS DE MINERAL	OPERATIVA,PERO SE GENERAN PERDIDAS	3	2	2	12
				2	RASPADORES DESGASTADOS	MERMAS DE MINERAL	OPERATIVA,PERO SE GENERAN PERDIDAS	3	4	2	24
				3	CINTA RASGADA	MERMAS DE MINERAL	NO OPERATIVA	4	4	1	16
				4	CINTA AGUJEREADA	MERMAS DE MINERAL	NO OPERATIVA	4	3	1	12
				5	BANDA DESALINEADA	MERMAS DE MINERAL	NO OPERATIVA	1	6	2	12
				6	BANDA DESTENSIONADA	MERMAS DE MINERAL	NO OPERATIVA	1	2	2	4

3	DESLIZAR BANDA Y MANTENERLA CENTRADA	1	LA BANDA NO DESLIZA	1	TAMBOR DE CABEZA O COLA DESGASTADOS	CINTA DESCENTRADA EN MOVIMIENTO DE AVANCE	NO OPERATIVA	4	1	2	8
				2	RODILLOS GRIPADOS	ATASCO DE LA CINTA	NO OPERATIVA	2	6	3	36
				3	RESIDUOS GENERANDO ATASCAMIENTO	ATASCO DE LA CINTA	NO OPERATIVA	2	5	3	30
4	PROVEER UNA ESTRUCTURA DE TRANSPORTE QUE GARANTICE LA INTEGRIDAD DEL MATERIAL TRANSPORTADO Y SEGURIDAD DEL PERSONAL	1	DESGASTE POR ROCE EXCESIVO Y SOPORTES EN MAL ESTADO	1	BANDA DESALINEADA	TRASPASO BRUSCO	OPERATIVA. PERDIDA DE MATERIAL Y REDUCE PRODUCCION	6	2	1	12
				2	PARTES DE ESTRUCTURA ROTAS O DOBLADAS	RIESGO DE CAIDA DE MATERIAL	NO OPERATIVA. RIESGO PARA EL PERSONAL	4	4	1	16
				3	GUIAS DE SOPORTE INEFICIENTES	TRASPASO BRUSCO	OPERATIVA. PERDIDA DE MATERIAL Y REDUCE PRODUCCION	3	3	2	18
				4	GUARDERAS EN MAL ESTADO	RIESGO DE CAIDA DE MATERIAL	OPERATIVA. PERDIDA DE MATERIAL	4	2	1	8
5	CONTAR CON BOTONERA DE EMERGENCIA	1	NO PARA EN CASO DE EMERGENCIA	1	BOTONERA EN MAL ESTADO	ACCIDENTE LABORAL O FALLO EN EL SISTEMA	NO OPERATIVA. IMPACTO EN LA SEGURIDAD	9	5	3	135

## Anexo 4: Resultados Análisis de modos y efectos de falla cinta 1A

Tabla 51: Resultados análisis de modos y efectos de falla cinta 1A. (Elaboración propia)

#	FUNCIÓN	#	FALLA FUNCIONAL	#	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA	CONSECUENCIA DE FALLA	G	O	D	NPR
1	TRANSPORTAR MINERAL A UNA VELOCIDAD DE 10 M/MIN	1	NO TRANSPORTA EL MINERAL	1	SIN FUENTE DE ALIMENTACION	NO CIRCULA MINERAL	NO OPERATIVA	5	1	1	5
				2	ACOPLAMIENTO ROTO	NO CIRCULA MINERAL	NO OPERATIVA	6	3	2	36
				3	ROTURA REDUCTOR	NO CIRCULA MINERAL	NO OPERATIVA	9	3	1	27
				4	ROTURA MOTOR	NO CIRCULA MINERAL	NO OPERATIVA	4	1	5	20
				5	ROTURA BANDA	NO CIRCULA MINERAL	NO OPERATIVA	4	5	1	20
				6	RODAMIENTOS GRIPADOS	NO CIRCULA MINERAL	NO OPERATIVA	3	2	2	12
				7	DESGASTE/ ROTURA TAMBORES	NO CIRCULA MINERAL	NO OPERATIVA	9	1	2	18
		2	VELOCIDAD MAYOR A 10 M/MIN	1	REDUCTOR DE MAL CONFIGURADO	PERDIDA DE TRACCION	OPERATIVA, CINTA NO LOGRA TRANSPORTAR MINERAL	2	1	1	2
		3	VELOCIDAD MENOR A 10 M/MIN	1	SOBRECARGA DE MATERIAL	ACUMULACION DE MINERAL	CUELLO DE BOTELLA EN LA LINEA	4	4	3	48
				2	REDUCTOR DE MAL CONFIGURADO			2	2	1	4
2	EVITAR PERDIDAS DE MINERAL	1	EXISTEN PERDIDAS DE MINERAL	1	GUARDERAS DESGASTADAS	MERMAS DE MINERAL	OPERATIVA, PERO SE GENERAN PERDIDAS	3	2	2	12
				2	RASPADORES DESGASTADOS	MERMAS DE MINERAL	OPERATIVA, PERO SE GENERAN PERDIDAS	3	4	2	24
				3	CINTA RASGADA	MERMAS DE MINERAL	NO OPERATIVA	4	4	1	16
				4	CINTA AGUJEREADA	MERMAS DE MINERAL	NO OPERATIVA	4	3	1	12
				5	BANDA DESALINEADA	MERMAS DE MINERAL	NO OPERATIVA	1	6	2	12
				6	BANDA DESTENSIONADA	MERMAS DE MINERAL	NO OPERATIVA	1	2	2	4

3	DESLIZAR BANDA Y MANTENERLLA CENTRADA	1	LA BANDA NO DESLIZA	1	TAMBOR DE CABEZA O COLA DESGASTADOS	CINTA DESCENTRADA EN MOVIMIENTO DE AVANCE	NO OPERATIVA	4	2	2	16
				2	RODILLOS GRIPADOS	ATASCO DE LA CINTA	NO OPERATIVA	2	6	3	36
				3	RESIDUOS GENERANDO ATASCAMIENTO	ATASCO DE LA CINTA	NO OPERATIVA	2	5	3	30
4	PROVEER UNA ESTRUCTURA DE TRANSPORTE QUE GARANTICE LA INTEGRIDAD DEL MATERIAL TRANSPORTADO Y SEGURIDAD DEL PERSONAL	1	DESGASTE POR ROCE EXCESIVO Y SOPORTES EN MAL ESTADO	1	BANDA DESALINEADA	TRASPASO BRUSCO	OPERATIVA. PERDIDA DE MATERIAL Y REDUCE PRODUCCION	6	2	1	12
				2	PARTES DE ESTRUCTURA ROTAS O DOBLADAS	RIESGO DE CAIDA DE MATERIAL	NO OPERATIVA. RIESGO PARA EL PERSONAL	4	4	1	16
				3	GUIAS DE SOPORTE INEFICIENTES	TRASPASO BRUSCO	OPERATIVA. PERDIDA DE MATERIAL Y REDUCE PRODUCCION	3	3	2	18
				4	GUARDERAS EN MAL ESTADO	RIESGO DE CAIDA DE MATERIAL	OPERATIVA. PERDIDA DE MATERIAL	4	2	1	8
5	CONTAR CON BOTONERA DE EMERGENCIA	1	NO PARA EN CASO DE EMERGENCIA	1	BOTONERA EN MAL ESTADO	ACCIDENTE LABORAL O FALLO EN EL SISTEMA	NO OPERATIVA. IMPACTO EN LA SEGURIDAD	9	5	3	135