

2016

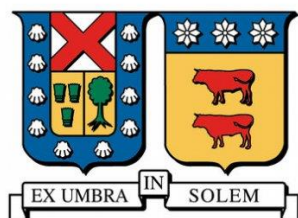
MEJORA EN SISTEMA DE TENSADO EN CORREAS DE LA LÍNEA CRÍTICA EN GRAN EMPRESA MINERA DEL COBRE

TAN GÓMEZ, WE-SIANG HUGO

<http://hdl.handle.net/11673/23378>

Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
VALPARAÍSO – CHILE



**“MEJORA EN SISTEMA DE TENSADO EN
CORREAS DE LA LÍNEA CRÍTICA
EN GRAN EMPRESA MINERA DEL COBRE”**

WE-SIANG HUGO TAN GÓMEZ

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PROFESOR GUÍA: DR. ING. PEDRO SARIEGO PASTÉN

PROFESOR CORREFERENTE: ING. RAFAEL MENA YANSSEN

NOVIEMBRE 2016

Agradecimientos

Agradezco el apoyo incondicional de mi familia y mi novia, quienes han estado siempre de manera directa e indirecta acompañándome a lo largo de mi vida universitaria, motivándome a seguir siempre adelante y lograr las metas que me proponga.

... A mis amigos y todas las vivencias que tuvimos con el pasar del tiempo y que fueron parte de mi formación como persona.

... Al cuerpo docente del Departamento de Ingeniería Mecánica de la UTFSM, que me entregó las herramientas y conocimientos necesarios para llegar a ser un gran profesional del área.

... A mis compañeros de trabajo en Codelco Radomiro Tomic, en particular las gerencias de Mantenimiento, Planificación y Confiabilidad, por apoyarme y entregarme las herramientas necesarias para el desarrollo de mi trabajo de título.

A todos: Gracias Totales.

Resumen

El presente informe, tiene como objetivo presentar el estudio de las correas transportadoras CV-110, CV-111, CV-112, CV-113 y CV-114, pertenecientes a la línea crítica del área de chancado y manejo de materiales de una gran empresa minera de cobre. Dicho estudio busca encontrar puntos de mejora asociados a los sistemas tensores de estas correas, orientado a tres aspectos principales: diseño, operación y mantenimiento.

Desde la perspectiva del diseño, se calcularon las tensiones y potencias que requieren las correas transportadoras según la norma CEMA y se compararon con los valores que presentan actualmente. De este análisis, se llegó a que las correas están trabajando con factores de seguridad mayores a 10, por lo que están bajo el estándar de la empresa. Por otro lado se detectó que las correas CV-110, CV-112, CV-113 y CV-114 al operar con una flecha de 1%, requieren aumentar el peso de sus contrapesos.

Desde el punto de vista operacional, se utilizaron herramientas de análisis de fallas para encontrar las detenciones críticas y sus causas raíces. Dicho análisis arrojó que los sistemas tensores no son equipos críticos, ni tampoco son parte de las causas raíces de las detenciones de las correas transportadoras.

Desde la perspectiva del mantenimiento, se analizó la inspección y mantenimiento que se realiza a los sistemas tensores por contrapeso, encontrando un punto de mejora, debido a que las pautas de estos son muy básicas.

Por otro lado, también desde el punto de vista del mantenimiento, se analizó la participación del sistema tensor en los mantenimientos que requieren el destensado y tensado de la cinta, detectando peligros para los trabajadores durante la maniobra y una larga duración dentro del mantenimiento. Este es el segundo punto de mejora encontrado.

Dentro de las mejoras, se elaboraron nuevas pautas de inspección y mantenimiento, diferenciando entre las correas analizadas, e incorporando la inspección detallada del cable de acero, que constituye uno de los elementos críticos del contrapeso.

La segunda mejora consiste en implementar un sistema auxiliar para el sistema tensor, el cual tiene como elemento principal un winche eléctrico, en el que irá enrollado un cable de acero que se conectará en el extremo libre con el contrapeso y la torre. Este cable será guiado a través de un conjunto de roldanas y se acondicionará para su uso con prensas Crosby, guarda cabos, entre otros elementos. Dicho sistema disminuirá el tiempo de destensado y tensado de la cinta a la mitad del actual y eliminará la utilización de las grúas y el peligro que corren los trabajadores.

La implementación del sistema auxiliar tensor, tiene un costo de inversión de \$177.880.929 [CLP]. Además, los indicadores económicos VAN, TIR e IVAN indican que el proyecto es rentable y de alto rendimiento económico para la empresa.

Abstract

The present report aims to present the study of the CV-110, CV-111, CV-112, CV-113 and CV-114 conveyor belts, belonging to the critical crushing and material handling area of a large Copper mining company. This study seeks to find improvement points associated with the tensioning systems of these belts, oriented to three main aspects: design, operation and maintenance.

From the design perspective, the tensions and powers required by the CEMA standard conveyor belts were calculated and compared with the current values. From this analysis, it was found that the belts are working with safety factors greater than 10, so they are under the company standard. On the other hand, it was detected that the belts CV-110, CV-112, CV-113 and CV-114 when operating with an arrow of 1%, require increasing the weight of their counterweights.

From the operational point of view, fault analysis tools were used to find critical arrests and their root causes. Said analysis showed that the tensioning systems are not critical equipment, nor are they part of the root causes of the arrests of the conveyor belts. From the perspective of maintenance, we analyzed the inspection and maintenance that is done to the tensioning systems by counterweight, finding a point of improvement, because the guidelines of these are very basic.

On the other hand, also from the point of view of maintenance, the participation of the tensioning system in the maintenance that required the tensioning and tensioning of the belt was analyzed, detecting dangers for the workers during the maneuver and a long duration within the maintenance. This is the second improvement point found.

Among the improvements, new patterns of inspection and maintenance were developed, differentiating between the belts analyzed, and incorporating the detailed inspection of the steel cable, which constitutes one of the critical elements of the counterweight. The second improvement consists in implementing an auxiliary system for the tensioning system, which has as main element an electric winch, in which will be rolled up a steel cable that will be connected at the free end with the counterweight and the tower. This cable will be guided through a set of pulleys and will be conditioned for use with Crosby presses, rope guards, among other elements. This system will reduce the time of tensioning and tensioning of the tape to half of the current one and will eliminate the use of the cranes and the danger that the workers run.

The implementation of the auxiliary tensor system, has an investment cost of \$ 177,880,929 [CLP]. In addition, the economic indicators VAN, IRR and IVAN indicate that the project is profitable and of high economic yield for the company.

Glosario

RT	Radomiro Tomic
SX	Extracción por solventes
EW	Electro-obtención
BM	Carro Tripper
FE	Alimentador
CV	Correa transportadora
SC	Harnero
CR	Chancador

Índice general

AGRADECIMIENTOS	I
RESUMEN.....	II
ABSTRACT	III
GLOSARIO	IV
ÍNDICE GENERAL.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	1
OBJETIVO PRINCIPAL	1
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	1
1. MARCO TEÓRICO	2
1.1 CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE DE CHILE	2
1.1.1 Misión.....	2
1.1.2 Visión.....	2
1.1.3 Estructura organizacional.....	3
1.2 CODELCO DIVISIÓN RADOMIRO TOMIC	3
1.2.1 Proceso productivo	3
1.2.2 Área de Chancado y Manejo de Materiales.....	5
1.3 CORREAS TRANSPORTADORAS	12
1.3.1 Definición.....	12
1.3.2 Comparación con otros medios de transporte de materiales.....	12
1.3.3 Componentes principales [10]	13
1.3.4 Sistemas de tensado [12].....	31
1.4 BASE DE CÁLCULO PARA CORREAS TRANSPORTADORAS	33
1.4.1 Potencia [13].....	34
1.4.2 Factores de cálculo [13]	35
1.4.3 Tensiones de la cinta [13]	40
1.4.4 Relaciones de la polea de accionamiento [13]	44
1.4.5 Análisis de tensiones en la cinta [13]	47
1.4.6 Método gráfico para la determinación de la potencia.....	60
2. DIAGNÓSTICO INICIAL DE LA LÍNEA CRÍTICA.....	64
2.1 SISTEMA TENSOR CV-110	64
2.2 SISTEMA TENSOR CV-111	66
2.3 SISTEMA TENSOR CV-112	68
2.4 SISTEMA TENSOR CV-113	70
2.5 SISTEMA TENSOR CV-114	73

3. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	75
3.1 DISEÑO	75
3.1.1 Datos para el cálculo de los contrapesos	75
3.1.2 Cálculo de contrapesos	77
3.1.3 Tablas de datos para el cálculo de tensiones y potencia	78
3.1.4 Cálculo de tensiones y potencia	81
3.2 OPERACIÓN.....	92
3.2.1 Análisis de Pareto	92
3.2.2 Análisis de modos de falla y sus efectos AMFE	100
3.2.3 Diagrama Causa – Efecto	103
3.2.4 Análisis de resultados.....	105
3.3 MANTENIMIENTO.....	105
3.3.1 Mantenimiento del sistema tensor	106
3.3.2 El sistema tensor en el mantenimiento de las correas transportadoras.....	107
3.3.3 Análisis del mantenimiento	109
4. PROPUESTA DE MEJORA.....	110
4.1 DETERMINACIÓN DE LAS SOLUCIONES	110
4.2 MEJORA DE LAS PAUTAS DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO.....	111
4.3 SISTEMA DE APOYO PARA EL SISTEMA TENSOR.....	111
4.3.1 Factibilidad técnica.....	111
4.3.2 Factibilidad económica.....	129
5. CONCLUSIONES.....	134
6. REFERENCIAS	136
7. ANEXOS	140
ANEXO 1. ORGANIGRAMA DE CODELCO [22]	140
ANEXO 2. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS CHANCADO SECUNDARIO [8].....	141
ANEXO 3. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS CHANCADO Terciario [8]	143
ANEXO 4. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS ÁREA CURADO DE MINERAL. [8].....	146
ANEXO 5. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS ÁREA APILAMIENTO DE MINERAL. [8]	147
ANEXO 6. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS REMOCIÓN Y APILAMIENTO DE RIPIO. [8]	148
ANEXO 7. PAUTA DE INSPECCIÓN SISTEMA TENSOR CV-110 Y CV-111.....	150
ANEXO 8. PAUTA DE INSPECCIÓN SISTEMA TENSOR CV-112, CV-113 Y CV-114.	151
ANEXO 9. PAUTA DE MANTENIMIENTO SISTEMA TENSOR CV110, CV-111, CV-112, CV-113 Y CV-114.....	152

Índice de figuras

Figura 1-1. Diagrama de flujo del proceso global de Radomiro Tomic. [6]	4
Figura 1-2. Diagrama de flujo de Área Seca. [8]	6
Figura 1-3. Área Chancado Secundario. [8].....	7
Figura 1-4. Área Chancado Terciario. [8].....	8
Figura 1-5. Correas de curado. [8]	9
Figura 1-6. Zona de apilamiento de mineral. [8].....	10
Figura 1-7. Área de remoción y apilamiento de ripios. [8]	11
Figura 1-8. Componentes principales del sistema de correa transportadora. [11]	14
Figura 1-9. Estructura cinta transportadora textil. [15]	16
Figura 1-10. Estructura cinta transportadora de cables de acero. [15]	16
Figura 1-11. Estructura de un rodillo. [10].....	18
Figura 1-12. Tipos de rodillos y disposición espacial. [7]	20
Figura 1-13. Estructura tambor motriz. [11]	21
Figura1-14. Estructura tambor de reenvío. [11].....	21
Figura 1-15. Ubicación tambores en sistema de correa trasportadora. [15]	22
Figura 1-16. Sistema tensor de tornillo o husillo. [16].....	23
Figura 1-17. Sistema tensor huinche eléctrico fijo. [17]	23
Figura 1-18. Bastidores de cintas transportadoras. [18].....	25
Figura 1-19. Raspador primario con sistema tensor por torsión. [16].....	27
Figura 1-20. Raspador secundario en "V". [16]	27
Figura 1-21. Grupo motriz correa transportadora. [18].....	28
Figura 1-22. Esquema de sistema de tensado con contrapeso y carro tensor. [20]	33
Figura 1-23. Variación del factor Kt en relación a la temperatura ambiente de trabajo. [13].....	35
Figura 1-24. Tensión efectiva requerida para acelerar el material desde que entra a la cinta. [13] ..	43
Figura 1-25. Polea simple de accionamiento en una correa inclinada u horizontal. [13].....	45
Figura 1-26. Polea simple de accionamiento en una correa declinada regenerativa. [13]	45
Figura 1-27. Correa inclinada con polea motriz en la cabeza. [13].....	50
Figura 1-28. Correa horizontal con curva vertical cóncava y polea motriz en la cabeza. [13]	50
Figura 1-29. Correa horizontal con curva vertical convexa y polea motriz en la cabeza. [13]	50
Figura 1-30. Correa declinada, no regenerativa y con polea motriz en la cabeza. [13]	51
Figura 1-31. Correa no regenerativa, con curva vertical convexa y polea motriz en la cabeza. [13] 51	
Figura 1-32. Correa no regenerativa, con curva vertical cóncava y polea motriz en la cabeza. [13] 52	
Figura 1-33. Correa declinada regenerativa, con polea motriz en la cabeza. [13]	52
Figura 1-34. Correa regenerativa, con curva vertical convexa y polea motriz en la cabeza. [13].....	53
Figura 1-35. Correa regenerativa, con curva vertical cóncava y polea motriz en la cabeza. [13].....	53
Figura 1-36. Correa inclinada con polea motriz en la cola. [13]	54
Figura 1-37. Correa horizontal con curva vertical cóncava y polea motriz en la cola. [13]	54
Figura 1-38. Correa horizontal con curva vertical convexa y polea motriz en la cola. [13]	54
Figura 1-39. Correa declinada, no regenerativa y con polea motriz en la cola. [13].....	55
Figura 1-40. Correa no regenerativa, con curva vertical convexa y polea motriz en la cola. [13]....	55
Figura 1-41. Correa no regenerativa, con curva vertical cóncava y polea motriz en la cola. [13]....	55
Figura 1-42. Correa declinada, regenerativa y con polea motriz en la cola. [13].....	56

Figura 1-43. Correa regenerativa, con curva vertical cóncava y con polea motriz en la cola. [13] ..	56
Figura 1-44. Correa regenerativa, con curva vertical convexa y con polea motriz en la cola. [13]..	57
Figura 1-45. Potencia requerida para mover la cinta horizontalmente. [13].....	62
Figura 1-46. Potencia requerida para elevar el material. [13]	63
Figura 1-47. Potencia requerida para transportar horizontalmente el material. [13].....	64
Figura 2-1. Sistema de contrapeso CV-110	65
Figura 2-2. Planchas del contrapeso CV-110.....	65
Figura 2-3. Carro tensor CV-110.	66
Figura 2-4. Sistema de contrapeso CV-111.....	67
Figura 2-5. Abolladura viga tubular del contrapeso CV-111.....	67
Figura 2-6. Planchas del contrapeso CV-111.....	68
Figura 2-7. Carro tensor CV-111.	68
Figura 2-8. Sistema de contrapeso CV-112.....	69
Figura 2-9. Planchas del contrapeso CV-112.....	69
Figura 2-10. Carro tensor CV-112.	70
Figura 2-11. Sistema de contrapeso CV-113.....	71
Figura 2-12. Protección metálica del contrapeso CV-113.	71
Figura 2-13. Rejilla metálica lateral del contrapeso CV-113.....	72
Figura 2-14. Planchas del contrapeso CV-113.....	72
Figura 2-15. Carro tensor CV-113.	72
Figura 2-16. Deformación carro tensor CV-113.	73
Figura 2-17. Sistema de contrapeso CV-114.....	74
Figura 2-18. Planchas del contrapeso CV-114.....	74
Figura 2-19. Carro tensor CV-114.	75
Figura 3-1. Plano de una plancha de contrapeso. [21]	76
Figura 3-2. Diagrama de Pareto de detenciones CV-110.....	93
Figura 3-3. Diagrama de Pareto de detenciones CV-111.....	94
Figura 3-4. Diagrama de Pareto de detenciones CV-112.....	96
Figura 3-5. Diagrama de Pareto de detenciones CV-113.....	97
Figura 3-6. Diagrama de Pareto de detenciones CV-114.....	99
Figura 3-7. Diagrama de Ishikawa CV-110.	103
Figura 3-8. Diagrama de Ishikawa CV-111.	104
Figura 3-9. Diagrama de Ishikawa CV-112.	104
Figura 3-10. Diagrama de Ishikawa CV-113.	104
Figura 3-11. Diagrama de Ishikawa CV-114.	105
Figura 4-1. Matriz de impacto v/s consecuencia.....	110
Figura 4-2. Esquema de instalación del sistema auxiliar.	112
Figura 4-3. Layout sistema auxiliar tensor CV-110 y CV-111.....	113
Figura 4-4. Layout sistema auxiliar tensor CV-112.....	113
Figura 4-5. Layout sistema auxiliar tensor CV-113.....	114
Figura 4-6. Layout sistema auxiliar tensor CV-114.....	114
Figura 4-7. Dimensiones winche eléctrico Pro Winch.....	115
Figura 4-8. Corte transversal cable acero 6x19 con alma de fibra.	115
Figura 4-9. Dimensiones roldana móvil. [27]	117

Figura 4-10. Dimensiones roldana fija 1. [27]	117
Figura 4-11. Dimensiones roldana fija 2. [27]	117
Figura 4-12. Grillete industrial. [27]	118
Figura 4-13. Guardacabo industrial. [28]	118
Figura 4-14. Prensa Crosby. [29]	119
Figura 4-15. Tablero eléctrico. [30]	119
Figura 4-16. Enchufe hembra industrial. [31]	120
Figura 4-17. Cable eléctrico 4x4 AWG. [32]	120
Figura 4-18. Tubo de PVC conduit. [33]	121
Figura 4-19. Curva de PVC conduit. [33]	121
Figura 4-20. Conector de PVC conduit. [33]	121
Figura 4-21. Salida de PVC conduit. [33]	122
Figura 4-22. Valla papal. [34]	122
Figura 4-23. Modificación estructural torre de contrapeso CV-110 y CV-111.....	123
Figura 4-24. Diseño referencial de la oreja.	124
Figura 4-25. Modificación estructural torre de contrapeso CV-112.	125
Figura 4-26. Modificación estructural torre de contrapeso CV-113 y CV-114.....	125

Índice de tablas

Tabla 1-1. Comparación de sistemas de transporte de materiales. [7]	13
Tabla 1-2. Tipos de tejidos cinta transportadora.	15
Tabla 1-3. Calidad de recubrimiento según Norma DIN 22102.	16
Tabla 1-4. Cuadro comparativo entre tensores de correas transportadoras.	32
Tabla 1-5. Pesos promedio por longitud de cinta Wb.	36
Tabla 1-6. Valores de A_i según el rodillo.	36
Tabla 1-7. Valores de espaciamento de los bastidores para las tablas de K_y	37
Tabla 1-8. Valores de K_y (a).	38
Tabla 1-9. Valores de K_y (b).	39
Tabla 1-10. Valores corregidos de K_y	40
Tabla 1-11. Tensión necesaria para la rotación de las poleas.....	41
Tabla 1-12. Tensión adicional por raspadores.....	44
Tabla 1-13. Factores de abrace. [14]	46
Tabla 1-14. Coeficientes de fricción. [19].....	46
Tabla 1-15. Flecha recomendada para varias condiciones de carga completa.	48
Tabla 1-16. Desplazamiento permitido en sistema tensor según el tipo de correa.....	60
Tabla 1-17. Tabla de la figura 44: peso por longitud lineal de cinta y partes rotativas.....	61
Tabla 3-1. Peso total de los contrapesos.	78
Tabla 3-2. Datos de operación CV-110.....	78
Tabla 3-3. Datos de operación CV-111.....	79
Tabla 3-4. Datos de operación CV-112.....	79
Tabla 3-5. Datos de operación CV-113.....	80
Tabla 3-6. Datos de operación CV-114.....	80
Tabla 3-7. Constantes del cálculo.	81

Tabla 3-8. Peso del material y la cinta.	81
Tabla 3-9. Tensión por roce en las poleas.	82
Tabla 3-10. Tensión por el uso de raspadores en la correa.	82
Tabla 3-11. Tensión por el roce del mineral con las guarderas y total por accesorios.	82
Tabla 3- 12. Tensiones componentes de la tensión efectiva a 10.500 tph.....	83
Tabla 3-13.Tensiones componentes de la tensión efectiva a 9.500 tph.....	83
Tabla 3-14. Tensión por la zona de traspaso de mineral a 10.500 tph.	83
Tabla 3-15. Tensión por la zona de traspaso de mineral a 9.500 tph.	84
Tabla 3-16. Tensiones y potencias efectivas en las correas transportadoras a 10.500 tph.....	84
Tabla 3-17. Tensiones y potencias efectivas en las correas transportadoras a 9.500 tph.....	84
Tabla 3-18. Tensión del lado tenso y flojo de las correas a 10.500 tph y flecha 1%.	85
Tabla 3-19. Tensión del lado tenso y flojo de las correas a 10.500 tph y flecha 2%.	85
Tabla 3-20. Tensión del lado tenso y flojo de las correas a 9.500 tph y flecha 1%.	85
Tabla 3-21. Tensión del lado tenso y flojo de las correas a 9.500 tph y flecha 2%	86
Tabla 3-22. Tensión limitadora de flecha y del contrapeso de las correas a 10.500tph y flecha 1%.86	
Tabla 3-23. Tensión limitadora de flecha y del contrapeso de las correas a 10.500tph y flecha 2%.86	
Tabla 3-24. Tensión limitadora de flecha y del contrapeso de las correas a 9.500tph y flecha 1%. .86	
Tabla 3-25. Tensión limitadora de flecha y del contrapeso de las correas a 9.500tph y flecha 2%. .87	
Tabla 3-26. Tensión de diseño de las correas transportadoras.	87
Tabla 3-27. Tensión T1 específica y factor de seguridad a 10.500 tph y flecha 1%.....	88
Tabla 3-28. Tensión T1 específica y factor de seguridad a 10.500 tph y flecha 2%.....	88
Tabla 3-29. Tensión T1 específica y factor de seguridad a 9.500 tph y flecha 1%.....	88
Tabla 3-30. Tensión T1 específica y factor de seguridad a 9.500 tph y flecha 2%.....	89
Tabla 3- 31. Potencia del motor y comparación con potencia efectiva a 10.500 tph.	89
Tabla 3- 32. Potencia del motor y comparación con potencia efectiva a 9.500 tph.	90
Tabla 3- 33. Comparación de tensión del sistema tensor y peso del contrapeso 10.500 tph y flecha 1%.	90
Tabla 3- 34. Comparación de tensión del sistema tensor y peso del contrapeso 10.500 tph y flecha 2%.	91
Tabla 3- 35. Comparación de tensión del sistema tensor y peso del contrapeso 9.500 tph y flecha 1%.	91
Tabla 3- 36.Comparación de tensión del sistema tensor y peso del contrapeso 9.500 tph y flecha 2%.	91
Tabla 3-37. Detenciones registradas CV-110.....	92
Tabla 3-38.Detenciones registradas CV-111.....	94
Tabla 3-39.Detenciones registradas CV-112.....	95
Tabla 3-40.Detenciones registradas CV-113.....	97
Tabla 3-41.Detenciones registradas CV-114.....	98
Tabla 3-42. AMFE correas transportadoras parte 1.	100
Tabla 3-43.AMFE correas transportadoras parte 2.	101
Tabla 3-44.AMFE correas transportadoras parte 3.	102
Tabla 3-45.Tareas de inspección del sistema tensor. [24].....	106
Tabla 3-46.Tareas de mantención del sistema tensor. [25]	107
Tabla 4-1. Costos de apertura del proyecto.	127

Tabla 4-2.Consumo eléctrico del sistema.	128
Tabla 4-3.Costos de operación del proyecto.	128
Tabla 4-4.Pérdida económica por tonelaje no apilado.	130
Tabla 4- 5.Inversión inicial y depreciación de activos.	131
Tabla 4- 6.Reinversión del año 5 y depreciación de activos.	132
Tabla 4- 7.Flujo de caja parte I.	132
Tabla 4- 8.Flujo de caja parte II.	133

Introducción

Actualmente la industria minera se encuentra en un escenario económico crítico, debido a la disminución del precio del cobre, lo que repercute en las ganancias de las empresas mineras. Es por este motivo, que se está buscando constantemente la optimización de los procesos productivos mineros y de esta forma disminuir el impacto de la economía global.

Codelco es una de las empresas afectadas en Chile, por lo que se encuentra constantemente en búsqueda de mejoras a lo largo de sus ocho faenas, implementando herramientas de mejora continua, entre otras.

Las correas transportadoras constituyen más del 50% de los activos que integran el proceso productivo global de las faenas de Codelco. Es por esto que dirigir las mejoras a este sistema impactaría en los KPI involucrados más relevantes, como lo son su confiabilidad, disponibilidad y/o mantenibilidad, lo que generaría grandes impactos desde el punto de vista económico.

Es por esta razón que el presente informe de trabajo de título, se encuentra orientado a buscar puntos débiles en los sistemas tensores de algunas correas transportadoras de la línea crítica de Codelco Radomiro Tomic, para posteriormente proponer mejoras para eliminar estas falencias.

Objetivos

Objetivo principal

Mejora en el Sistema de Contrapesos Gravitacionales en correas transportadoras de la línea crítica: CV 110-111-112-113-114, en gran empresa minera del cobre.

Objetivos específicos

- Diagnóstico del actual sistema de tensado de las correas de la línea crítica, incluyendo la definición de subsistemas y componentes.
- Análisis de sus modos de falla y efectos. Definición de fallas críticas.
- Definición técnica de alternativas a nivel de subsistemas y componentes críticos.
- Desarrollo de ingeniería conceptual y básica.
- Análisis de factibilidad técnica y económica de la alternativa.
- Desarrollo de ingeniería de detalle.
- Desarrollo de propuesta de plan básico de mantenimiento asociada al desarrollo de ingeniería.

1. Marco teórico

1.1 Corporación Nacional del Cobre de Chile

La Corporación Nacional del Cobre de Chile, Codelco, es una empresa independiente perteneciente al Estado chileno, cuyo negocio se centra principalmente en la exploración, desarrollo y explotación de recursos mineros de cobre y sus subproductos, su procesamiento hasta convertirlos en cobre refinado, y su posterior comercialización.

Codelco es el mayor productor de cobre de mina del mundo, logrando en el año 2014 una producción de 1.841 miles de toneladas métricas de cobre fino, el equivalente al 10% de la producción mundial de cobre de mina y a un 31% de la producción nacional en dicho año.

Por otra parte, Codelco es también el segundo mayor productor mundial de molibdeno de mina, alcanzando una producción total de 30.628 miles de toneladas métricas finas en el año 2014.

La Corporación tiene activos por un total de US\$ 35.257 millones y un patrimonio que a fines de 2014 ascendió a US\$ 11.526 millones, siendo su principal producto comercial los cátodos de cobre grado A.

Codelco concentra los 9% de las reservas globales de cobre, contenidas en yacimientos de clase mundial. Por otra parte, los recursos minerales estimados en la Corporación le permitirían proyectar su explotación por más de 70 años, lo que muestra la fortaleza de su base minera

La compañía ejecuta sus operaciones a través de siete divisiones mineras más la Fundición y Refinería Ventanas, que pertenece a Codelco desde mayo de 2005. La División Ministro Hales, la más nueva de las Divisiones, inició a fines de 2013 su puesta en marcha como operación minera. Su estrategia corporativa es coordinada desde la Casa Matriz ubicada en Santiago de Chile. [1]

1.1.1 Misión

Desplegar en forma responsable y con excelencia, toda su capacidad de negocios mineros y relacionados en Chile y en el mundo, con el propósito de maximizar en el largo plazo su valor económico y su aporte al Estado. [2]

1.1.2 Visión

La razón de ser de Codelco, es seguir siendo líder mundial en la producción de cobre y la empresa que más contribuye al desarrollo de Chile y al entorno en que opera.

Codelco cuenta con un equipo de hombres y mujeres comprometidos con el liderazgo de la empresa en la industria minera de Chile y el mundo, para apoyar al progreso, al desarrollo del país y a cubrir las necesidades de los chilenos y chilenas más vulnerables.

En Codelco se trabaja para que el sello corporativo sea: la ausencia de fatalidades, la excelencia de los procesos, la pasión por la seguridad, la calidad de sus productos, la solidez financiera, la innovación permanente y el trabajo colectivo.

Fomenta el trabajo en equipo, la participación responsable y el aporte que proviene de la diversidad de experiencias y de las organizaciones de trabajadores. [3]

1.1.3 Estructura organizacional

Es posible ver el organigrama de la Corporación Nacional del Cobre de Chile, en el Anexo 1.

1.2 Codelco División Radomiro Tomic

Radomiro Tomic se encuentra ubicada en la segunda región de Antofagasta, a 1.670 kilómetros de Santiago, en la Cordillera de los Andes a una altura de 3.000 metros sobre el nivel del mar.

Se trata de un yacimiento, cuyo tipo de explotación es a rajo abierto para la obtención de minerales oxidados.

Aunque fue descubierto en la década de 1950, sus operaciones comenzaron en 1995, después de que Codelco actualizó los estudios sobre la factibilidad de su explotación y contó con la tecnología necesaria para explotarlo de manera económicamente rentable. A partir de abril de 1998 comenzó su operación en régimen.

Esta planta se encuentra diseñada para un nivel de producción anual de más 300 mil toneladas de cátodos de cobre. [4]

1.2.1 Proceso productivo

La operación de RT se encuentra enfocada principalmente en la producción de cobre catódico de alta pureza a partir de los minerales oxidados existentes en la mina.

El mineral oxidado de cobre es transportado desde la mina, mediante camiones de extracción, para luego reducir su tamaño en un circuito de chancado que consta de tres etapas. Luego este es curado con ácido sulfúrico en un sistema de correas, para luego ser pasar por un proceso de lixiviación mediante pilas dinámicas.

El material sólido, ahora con un contenido mínimo de cobre, es enviado al sector de ripios de lixiviación, en tanto que el cobre contenido en la solución cargada de lixiviación se recupera y concentra mediante una extracción por solventes. La solución purificada de cobre o electrolito rico que resulta de la extracción por solventes se somete a una reacción electroquímica en la planta de electro-obtención, para producir cobre catódico de alta pureza. La solución acuosa descargada de cobre que abandona el circuito de SX, llamada Refino, se envía al botadero de ripios en donde lixivia el material apilado.

Las soluciones capturadas al pie de los botaderos son enviadas a la etapa de lixiviación primaria de las pilas del mineral, adicionando una etapa de enriquecimiento intermedio a la solución de la lixiviación primaria. De esta manera se cierra el circuito. [5]

Se puede apreciar en la figura 1 el esquema del proceso descrito:

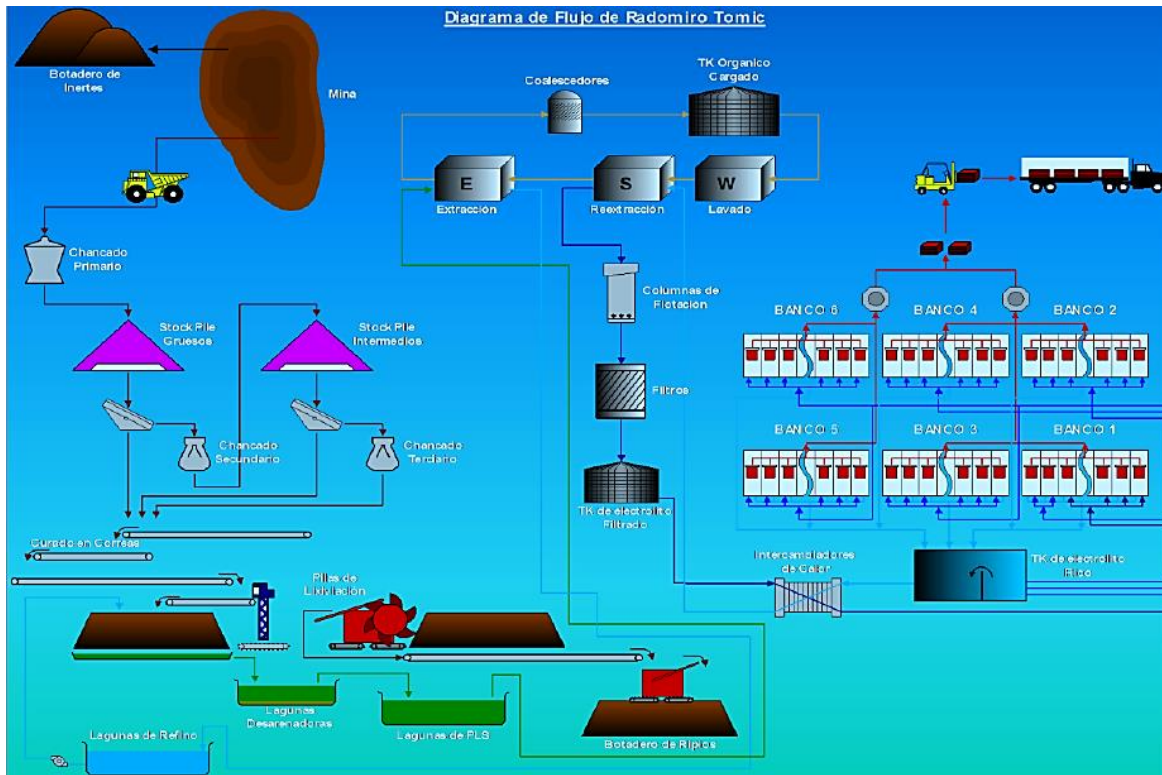


Figura 1-1. Diagrama de flujo del proceso global de Radomiro Tomic. [6]

El proceso productivo se divide en tres grandes áreas de operación, señaladas a continuación:

Área Mina:

- Actividades de geología.
- Extracción, carguío y transporte de mineral.
- Chancado primario del mineral.

Área Seca:

- Chancado secundario y terciario del mineral.
- Curado del mineral.
- Construcción de pilas de lixiviación.
- Remoción y apilamiento de ripios.

Área Húmeda:

- Lixiviación Primaria del mineral mediante pilas dinámicas.
- Lixiviación Secundaria de ripios.
- Extracción por solventes.
- Electro-obtención.
- Comercialización (patio de embarque).

Debido a que el tema de la Memoria se desarrolla en el Área Seca, esta se detallará a continuación.

1.2.2 Área de Chancado y Manejo de Materiales

El proceso contempla las etapas desde el chancador primario, correa alimentadora, los Stock-Pile, troneras de alimentadores, correas recuperadoras, harneros secundarios y terciarios, chancadores secundario y terciario, curado ácido en correas transportadoras y apilamiento, finalizando con el proceso de remoción y apilamiento de ripios.

El producto del chancado primario cuya granulometría es de 10 pulgadas, pasa al chancado secundario cuya granulometría es 2 pulgadas, luego pasa al chancado terciario donde la granulometría es bajo 1 pulgada, es aglomerado en correas transportadoras, mediante la adición de agua y ácido sulfúrico y depositado por el puente Apilador RAHCO en dos pilas dinámicas de hasta 10 metros de altura, en las cuales se realiza el proceso de Lixiviación Primaria.

Finalmente, el ripio es removido por la Rotopala HR-7100 y es enviado por correas transportadoras hasta el botadero, donde es depositado sobre una carpeta impermeable para su futura lixiviación.

La figura 2 muestra el esquema general de funcionamiento del área.

Chancado secundario

Una vez que el material extraído de la mina pasa por el chancado primario, este es acumulado en la pila secundaria o stock pile secundario. Desde allí el material es transportado a través de 7 línea, conformadas por un alimentador (FE 103-109) y una correa recuperadora (CV 102-108), a la nave de chancado secundario, donde el material es recibido por 7 harneros (SC 101-107), los cuales dejan pasar el material fino directamente a la correa CV-110, y todo aquel mineral que tenga un tamaño mayor a una pulgada a los chancadores secundarios (CR 103-109).

En la figura 3 es posible apreciar la configuración del área de chancado secundario.

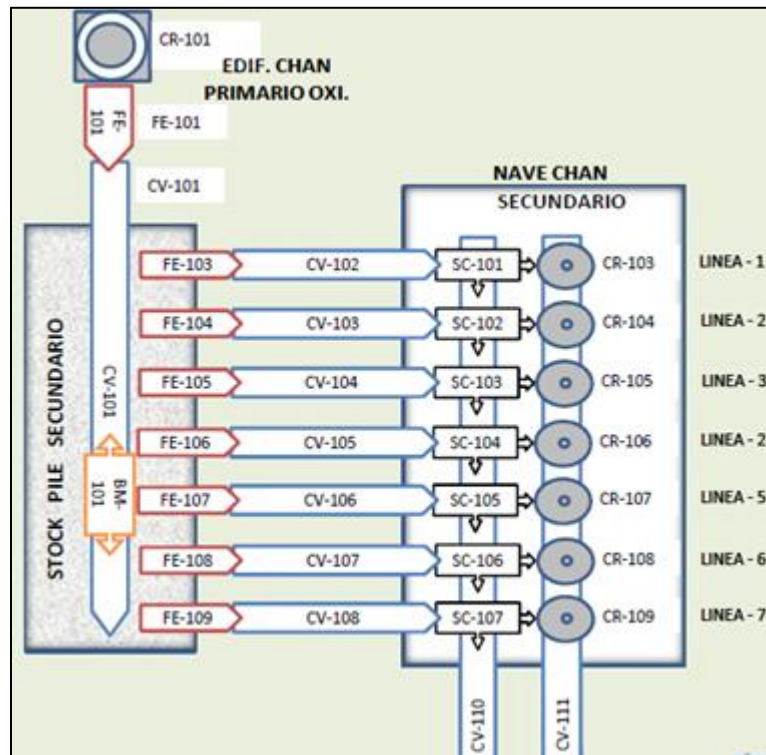


Figura 1-3. Área Chancado Secundario. [8]

El mineral chancado abandona la nave secundaria, y según su granulometría este puede tomar dos caminos distintos:

- Si tiene un tamaño mayor a una pulgada, este es enviado a la pila terciaria, a través de la correa transportadora CV-111, para su posterior conminución en la nave de chancado terciario.
- Si el mineral tiene un tamaño menor a una pulgada, este es enviado al área de curado de mineral, a través de la correa transportadora CV-110.

En el Anexo 2 se describen las características principales de cada equipo que interviene en este proceso.

Chancado terciario

Como se mencionó anteriormente, el material que no cumple con la granulometría requerida para el proceso de curado, es transportado desde la nave de chancado secundario a través de la correa CV-111, para luego pasar a la correa CV-119 y posteriormente por la CV-120, la cual posee un carro Tripper, el cual se desplaza a lo largo de la correa para vaciar el mineral en los 5 alimentadores (FE 121-125) ubicados en el stock pile terciario. El mineral pasa por los alimentadores, luego por las correas recuperadoras terciarias (CV 121-125), llegando finalmente a la nave de chancado terciario, en la cual el material es recibido por 5 harneros (SC 121-125), en los cuales se hace la separación de mineral según su tamaño, pudiendo seguir los siguientes caminos:

- El mineral que aun tenga un tamaño mayor a una pulgada pasa a los chancadores terciarios, depositándose finalmente en la correa CV-131, la cual deja el material en la correa CV-112, para que este comience la ruta del proceso de curado.
- El material que ya posee el tamaño requerido, pasa directamente desde los harneros a la correa CV-132, la cual transporta el mineral a la correa CV-112, para que siga al proceso de curado.

Se puede apreciar en la figura 4 la disposición de los componentes del área de chancado terciario.

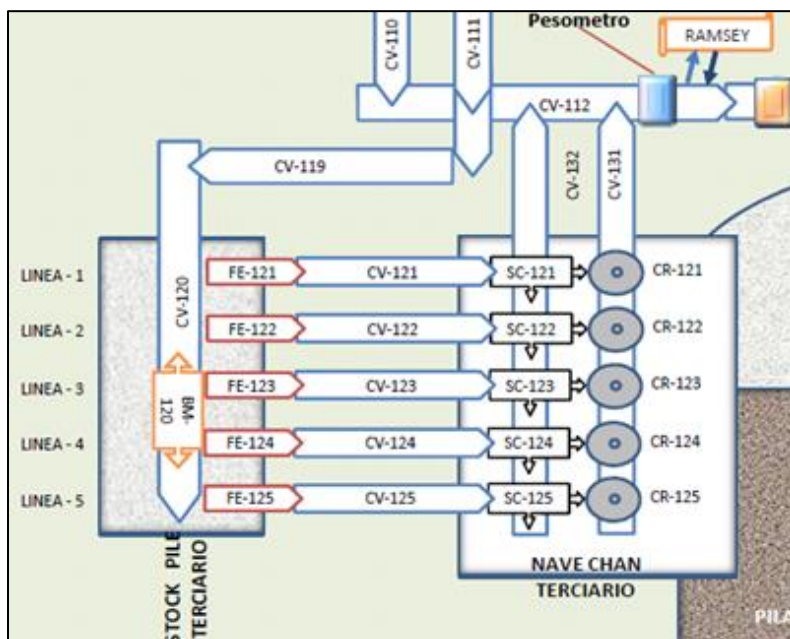


Figura 1-4. Área Chancado Terciario. [8]

En el Anexo 3, se detallan las características principales de los equipos que intervienen en el proceso.

Curado de mineral

En esta etapa todo el mineral debiera tener el tamaño indicado para su acondicionamiento y curado, es decir menor a una pulgada. Este mineral pasa por un circuito de correas transportadoras, comenzando por la CV-112, en la cual se le adiciona agua al mineral de acuerdo al porcentaje de humedad que presente y la variación de la carga generada tras los procesos de chancado, siendo la tasa promedio de adición de agua de 36 kg agua/ton mineral.

Tras el proceso mencionado anteriormente, el material pasa a través de las correas CV-113 y CV-114, en las cuales se le adiciona una solución de ácido sulfúrico de acuerdo a los parámetros del proceso de lixiviación y a la variación de carga de material, siendo la tasa promedio de adición de ácido de 5 a 7 kg ácido/ton mineral.

El objetivo de este proceso es preparar químicamente el mineral a una concentración de ácido, determinada como parámetro de diseño del proceso de lixiviación en base a las características químicas del mineral. [6]

En la figura 5, es posible apreciar la serie de correas donde se acondiciona el mineral.

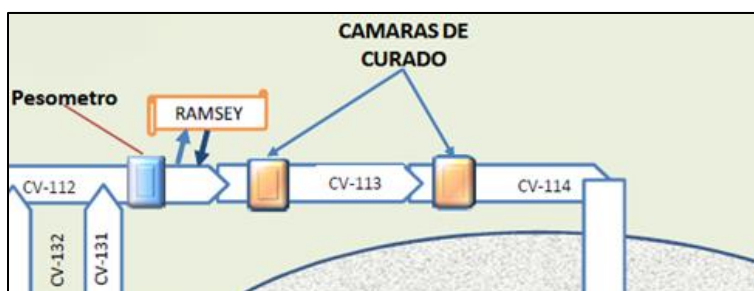


Figura 1-5. Correas de curado. [8]

Al final de la correa CV 114, el material es traspasado a la correa CV-201, en la cual comienza su traslado a la zona de apilamiento de material.

En el Anexo 4 se describen las características principales de las tres correas que intervienen en el proceso.

Apilamiento de mineral

El mineral es transportado por la correa CV-201 al área donde se encuentra ubicado el puente apilador.

El proceso de apilamiento tiene como objetivo armar pilas de mineral, con una geometría de tronco piramidal, las cuales llevan el nombre de pilas de lixiviación.

La altura de la pila es determinada como parámetro de diseño del proceso de lixiviación, de acuerdo a la granulometría del mineral. Este parámetro determina la velocidad de percolación, lo cual influye directamente en la recuperación de cobre que se produzca en el sistema de lixiviación.

El sistema de apilamiento está compuesto por un puente apilador, en el cual se desplaza un Tripper (BM-202), a través de una correa (CV-202), y una correa de pluma apiladora (CV-203), la cual deposita el mineral en la pila para su lixiviación. Al avanzar el apilador a lo largo de la pila, se va formando un bloque de aproximadamente un 1 m de ancho, cuya altura puede variar entre 8 a 10 m, obteniéndose finalmente un conjunto de pilas cuyo largo alcanza los 1.350 m y 383 m de ancho. En el término de carrera del carro de descarga, el puente apilador se desplaza 1 m y de esta manera, comenzar el próximo apilamiento.

En las pilas formadas se instala un sistema de irrigación, el cual tiene como objetivo realizar el goteo y/o aspersión de soluciones de refino durante un ciclo de aproximadamente 90 días, obteniéndose finalmente una solución rica en cobre llamada PLS. [6]

A continuación, en la figura 6, es posible ver la disposición de los elementos involucrados en el proceso de apilamiento de mineral.

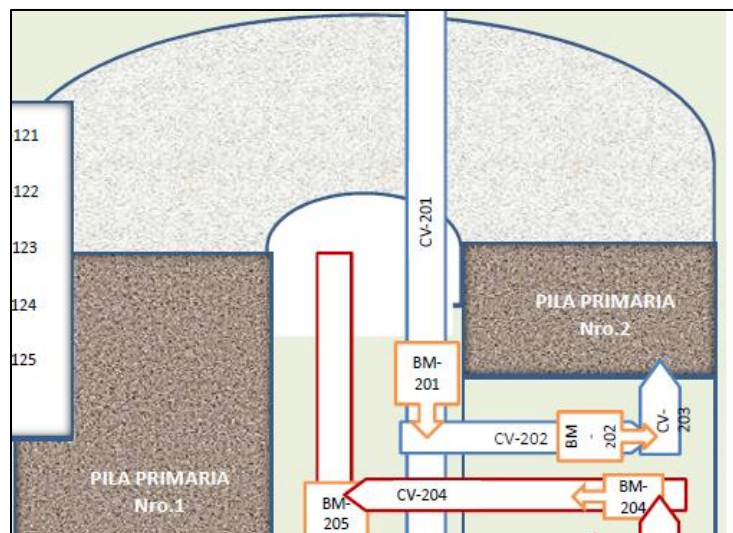


Figura 1-6. Zona de apilamiento de mineral. [8]

El Anexo 5 contiene los parámetros más importantes de los equipos que intervienen en esta área.

Remoción y apilamiento de ripios

Tras el periodo de lixiviación de las pilas (90 días) se excava el material, denominado ripio, a través de una Rotopala, la cual descarga el material excavado por la rueda de capachos a una correa o puente transportador que se encuentra integrada al equipo (BM-203). Esta correa transporta el ripio hacia un carro tolva móvil o Hopper (BM-204), el cual se desplaza sobre rieles a lo largo del puente recogedor, donde se encuentra la correa recuperadora de ripios (CV-204). [6]

El ripio transportado por la correa CV-204 es descargado en un carro Tripper (BM-205), el cual alimenta la correa CV-205. Luego el material pasa a la correa CV-206, a través del Tripper BM-206 (actualmente BM-208). Finalmente el ripio llega al área de apilamiento, donde se encuentra el Spreader.

El Spreader es el último equipo del área, encargado de apilar el ripio en el sector de los botaderos. Se trata de un equipo semi-móvil que se desplaza a lo largo de la correa CV-206, con una longitud aproximada de 3 km.

Los ripios depositados en el sector de los botaderos, son sometidos a un proceso de lixiviación secundaria, con la cual se aprovecha el cobre residual existente, obteniendo un promedio de 25.000 [ton] de cobre fino al año.

La figura 7 muestra cómo se encuentra conformada el área de remoción y apilamiento de ripios.

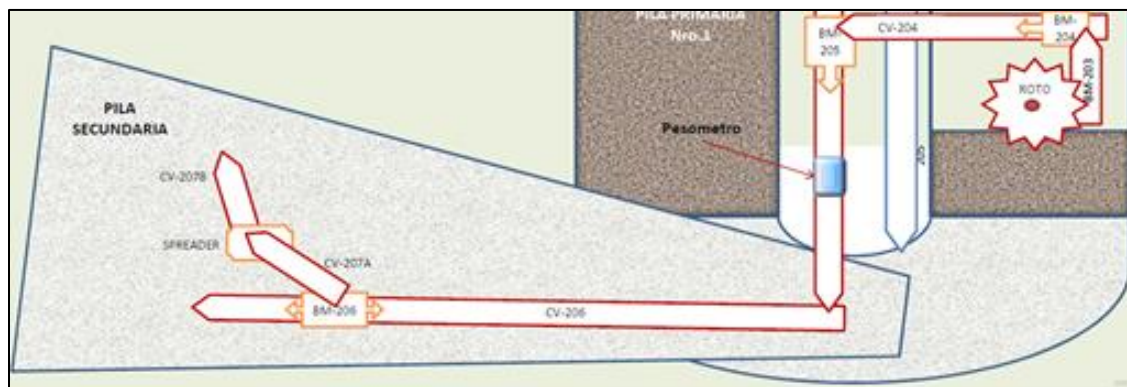


Figura 1-7. Área de remoción y apilamiento de ripios. [8]

En el Anexo 6, se describen los equipos principales que intervienen en el proceso.

Cabe mencionar que una vez finalizada la construcción de una pila, el sistema completo de apilado y remoción de ripios, gira en 180° en sentido horario, posicionándose frente a la siguiente cancha de apilado.

Línea crítica

La línea crítica corresponde a un conjunto de correas transportadoras ubicadas en serie, cuya detención unitaria, provoca una detención del proceso completo.

Las correas que entran a este grupo son: **CV-110, CV-111, CV-112, CV-113, CV-114, CV-119, CV-120, CV-131 y CV-132.**

Para efectos del desarrollo de la Memoria, sólo se aplicará la mejora en las correas CV-110 a la CV-114, considerando que se trabaja sólo con la línea de mineral del Chancado Secundario.

1.3 Correas transportadoras

1.3.1 Definición

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 (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. [9]

Se utilizan principalmente en el transporte de materiales granulados, en empresas de distintos rubros, siendo la minería uno de las principales empresas.

1.3.2 Comparación con otros medios de transporte de materiales

Las ventajas que tienen las correas transportadoras en comparación con otros sistemas de transporte de materiales, son las siguientes: permiten el transporte de materiales a gran distancia a un costo por tonelada transportada considerablemente más bajo, se adaptan a cualquier tipo de terreno, tienen una gran capacidad de transporte (hay correas capaces de transportar hasta 20.000 toneladas por hora), permiten transportar una gran variedad de materiales, permiten la carga y descarga en cualquier punto del trazado, se pueden desplazar y no alteran el producto transportado. [9]

En la Tabla 1 se muestra la comparación entre el uso de correas transportadoras y camiones de extracción.

Tabla 1-1. Comparación de sistemas de transporte de materiales. [7]

Sistema de transporte	Correa transportadora	Camión de extracción
Costo de operación y mantenimiento	Menor	Mayor
Mano de obra	Normal	Especializada
N° de operarios	Menor	Mayor
Inflación de costos interanuales	Menos sensible	Más sensible
Eficiencia energética	Mayor (motores eléctricos) (>75%)	Menor (Petróleo) (<45%)
Capacidad	No f(distancia)	Si f(distancia)
Longitud de transporte	Menor, admite mayores pendientes (33%)	Mayor, pendiente limitada (8%)
Construcción y mantenimiento de pistas	Menor, pistas de mantenimiento y auxiliares	Mayor, tráfico elevado
Proceso de extracción	Continuo	Intermitente
Condiciones ambientales	Menor influencia	Influencia mayor
Organización y automatización	Muy buena	Peor
Capacidad de transporte	Alta	Media
Inversión inicial	Alta	Menor, pistas
Versatilidad y adaptabilidad	Baja	Alta
Actual, versatilidad	Media, motores de velocidad variable	Alta
Planificación y cálculo	Elevado y riguroso	Riguroso
Diseño en serie	Menor tiempo de disponibilidad del conjunto	-

1.3.3 Componentes principales [10]

Las correas transportadoras cuentan con diversos componentes básicos necesarios para su correcto funcionamiento, los cuales pueden ser apreciados en el esquema de la figura 8.

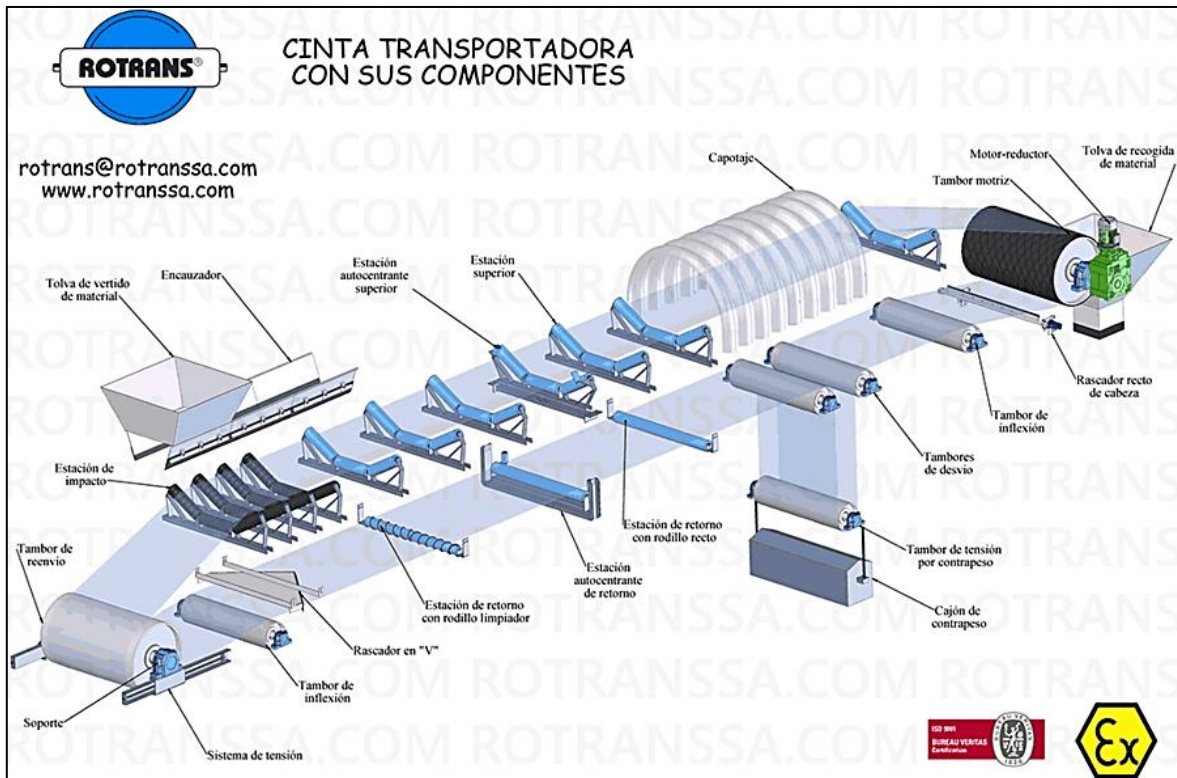


Figura 1-8. Componentes principales del sistema de correa transportadora. [11]

A continuación se describirán los principales componentes que conforman una correa transportadora.

Banda o correa

Se puede considerar como el elemento principal, ya que debe cumplir con las siguientes funciones:

- Absorber las tensiones desarrolladas en el arranque.
- Transportar la carga.
- Absorber la energía de impacto en el punto de carga.
- Resistir efectos térmicos y agentes químicos del material a transportar.
- Cumplir requisitos de seguridad, tales como la resistencia al fuego.

Tipos principales de bandas

Las bandas pueden ser clasificadas de la siguiente manera:

Según el material del tejido:

- Algodón.
- Tejido sintético.

- Cables de acero.

Según la disposición del tejido:

- De varias telas o capas.
- De tejido sólido.

Según la superficie portante de la carga:

- Lisas.
- Rugosas.
- Con nervios, tacos o bordes laterales vulcanizados.

Constitución de la banda

La estructura básica de una banda transportadora es la siguiente:

- **Tejido o carcasa:** Constituida por la urdimbre o hilos longitudinales y por la trama o hilos transversales. La urdimbre, que soporta los esfuerzos de tracción longitudinales, es generalmente más resistente que la trama, la cual soporta esfuerzos transversales secundarios, derivados de la adaptación a la forma de artesa y los producidos por impactos. La rigidez transversal de la trama no debe ser excesiva, con el propósito de que la banda pueda adaptarse bien a la artesa formada por la terna de rodillos. El tejido de la carcasa está cubierto en goma virgen, y a su vez el conjunto de telas se unen entre sí con la misma goma virgen.

Los tejidos empleados en la actualidad para el diseño de una banda aparecen en la Tabla 2.

Tabla 1-2. Tipos de tejidos cinta transportadora.

Tejido	Designación
Algodón	B
Rayón	Z
Poliéster	E
Poliamida	P
Cable de acero	ST

- **Recubrimientos:** Se encuentran formados por elastómeros (caucho natural), PVC u otros materiales. El recubrimiento superior es el que soporta el material y su impacto en los traspasos, mientras que el inferior es el que se encuentra en contacto con los rodillos o polines. Es por esto que el recubrimiento superior tiene mayor espesor que el inferior.

En la Tabla 3, se encuentran tabulados los distintos parámetros y denominación que poseen los recubrimientos utilizados en correas transportadoras.

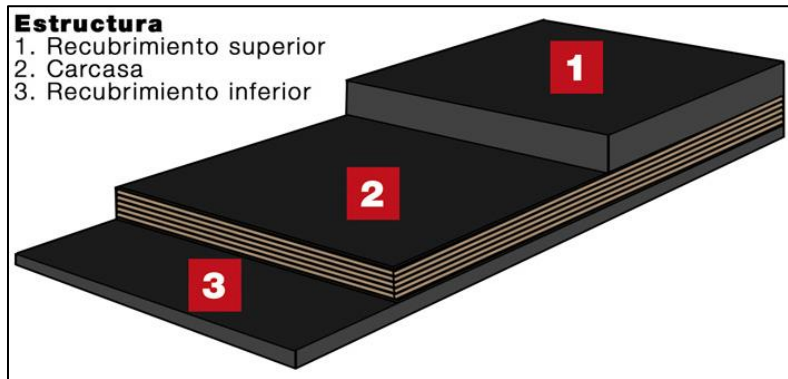


Figura 1-9. Estructura cinta transportadora textil. [15]

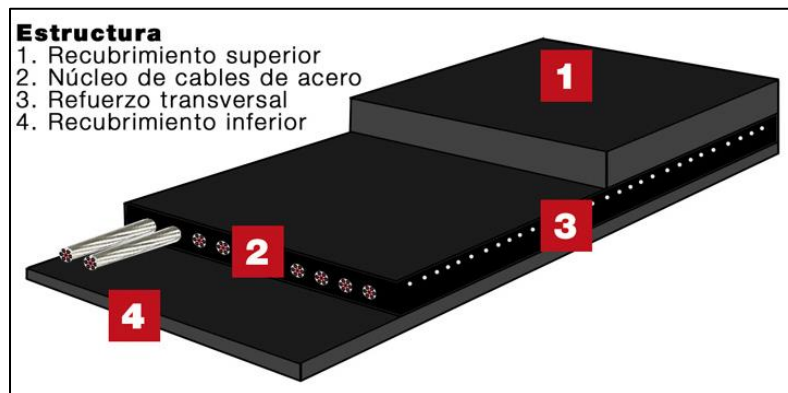


Figura 1-10. Estructura cinta transportadora de cables de acero. [15]

Tabla 1-3. Calidad de recubrimiento según Norma DIN 22102.

Calidad del recubrimiento	W	X	Y	Z
Resistencia a la tracción longitudinal [N/mm ²]	18	25	20	15
Alargamiento de rotura longitudinal [%]	400	450	400	350
Abrasión [mm ³]	90	120	150	250

Rodillos y soportes

Corresponden a otro de los componentes principales y de su calidad depende en gran medida el buen funcionamiento de la correa transportadora. Si el giro no es bueno, además de aumentar la fricción y por tanto el consumo de energía, también se producen desgastes en el recubrimiento de la banda, con la consiguiente reducción de la vida útil de esta.

Si los rodillos se inmovilizan, al rozar la banda contra ellos se producen planos en la superficie cilíndrica, que con el tiempo puede producir la rotura de los mismos.

Dentro de sus funciones principales se encuentran:

- Soportar la banda y el material a transportar por la misma en el ramal superior, y soportar la banda en el ramal inferior. Los rodillos del ramal superior situados en la zona de carga, deben soportar además el impacto producido por la caída del material.
- Contribuir al centrado de la banda, la cual se encuentra sometida a diversas fuerzas que tienden a descentrarla de su posición recta ideal. Esto se logra mediante la adecuada disposición de los rodillos, tanto portantes como de retorno.
- Apoyar a los rascadores en la limpieza de la banda.

Existen tres tipos fundamentales de rodillos (ver figura 12):

- Rodillos cilíndricos con superficie exterior lisa.
- Rodillos cilíndricos recubiertos de goma.
- Rodillos cilíndricos de aros de goma.

Constitución del rodillo

Los componentes principales se detallan a continuación:

- **Rodamientos:** En Europa se utilizan rodamientos de bolas, mientras que en E.E.U.U. rodamientos cónicos. Por un lado los rodamientos de bolas tienen una capacidad de carga, tomando como base el diámetro interior, lo suficiente para soportar cargas, velocidades y tiempos de duración exigidos por los usuarios de los rodillos, siendo además poco sensibles a la falta de alineación entre los mismos y con un coeficiente de fricción reducido. Por el contrario, los rodamientos cónicos tiene una capacidad de carga muy amplia, pero son muy sensibles a la falta de alineación.
- **Sistema de estanqueidad:** Se encuentra constituido por el conjunto de juntas, ya sean de fricción o de laberintos. De su eficacia depende la mayor o menor contaminación de la grasa lubricante, afectando la vida útil de los rodamientos, y por tanto del rodillo.
- **Eje:** Es un componente sencillo, siendo la precisión y coaxialidad de las zonas de asiento de los rodamientos, las dos condiciones exigidas al mismo. Suelen ser fabricados de aceros finos al carbono.
- **Cuerpo del rodillo:** Se encuentre formado por el tubo cilíndrico y por los extremos o cubos del mismo. Antiguamente eran fabricados en una sola pieza de fundición gris, de gran peso y utilizados principalmente en minería subterránea. Hoy en día, son más

ligeros, siendo la parte cilíndrica de tubo de acero, pero los cubos son de acero suave embutido, soldados al tubo.

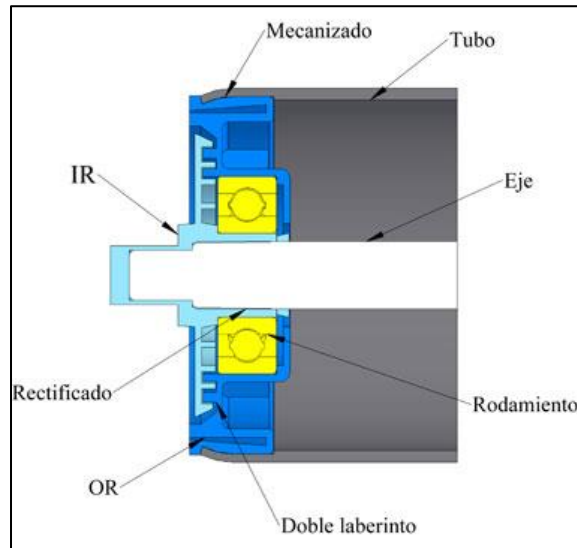


Figura 1-11. Estructura de un rodillo. [10]

Disposición espacial de los rodillos

Los rodillos deben adoptar diversas disposiciones espaciales para cumplir con sus funciones (ver figura 12).

Disposición rígida en el ramal superior:

- Un solo rodillo.
- Dos rodillos en “V”.
- Tres rodillos situados en forma artesa.
- En Guirnalda: Consta de tres o cinco rodillos enlazados mediante articulaciones en los extremos de los ejes, formando una guirnalda. La posición de equilibrio es una poligonal y la sección de transporte es aproximadamente constante.
- En Catenaria: Consta de varios rodillos de corta longitud, enlazados mediante un eje flexible (cable de acero), cuya posición de equilibrio es aproximadamente el de una catenaria.

Disposición rígida en el ramal inferior:

- Un solo rodillo liso, engomado o con discos de goma.
- Dos rodillos lisos en “V”, lisos, engomados y con discos de gomas. El conjunto es llamado “estación de retorno”.

En cada una de las configuraciones constructivas mencionadas, existen variaciones que les confieren otras propiedades y que definen por completo la función del rodillo, las cuales serán mencionadas a continuación:

- **Ángulo de artesa:** es aquel formado en el plano vertical por los rodillos portantes laterales en relación al central, y que definen la capacidad de transporte. Generalmente toma los siguientes valores: 20°, 30°, 35° y 45°.
- **Convergencia o “pinzaje”:** Es la disposición en planta de los rodillos, que influye en el centrado de la banda, y que consiste en adelantar los frentes exteriores de los rodillos laterales respecto del central, con lo cual se logra la inclinación de los ejes de los mismos.
- **Relación entre las longitudes de los rodillos laterales y el central:** Según la norma DIN, esta debe ser 1:1, lo que implica que los tres rodillos deben ser iguales. En E.E.U.U. e Inglaterra no se cumple esta relación.

Estaciones auto-centradoras

Cuando no es suficiente la acción centradora sobre la banda llevada a cabo por las disposiciones constructivas mencionadas anteriormente, es necesario el empleo de una disposición espacial que da origen a las denominadas “estaciones auto centradoras”. Esta puede montarse tanto en el ramal superior como en el inferior, o en ambos si se requiere.

Cuando se monta en el ramal superior, su constitución es básicamente en una terna de rodillos normales, a la cual se le ha dotado de un eje de giro vertical y de dos pequeños rodillos con su eje casi vertical, situado en las proximidades de los extremos más alejados de los rodillos laterales. Por otro lado, cuando es instalada en el retorno, se sustituye la terna de rodillos por un solo rodillo liso, manteniéndose todo lo demás.

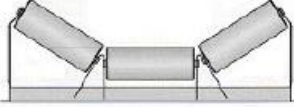
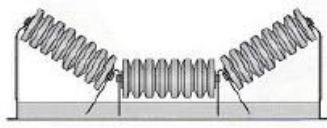
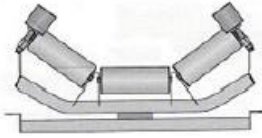
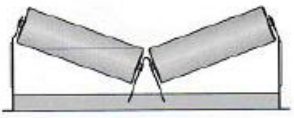
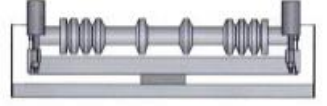
Rodillos	
	
Rodillos: artesa o cargador triple.	Rodillo triple de impacto.
	
Rodillo triple de alineación.	Artesa en "V".
	
Rodillo de retorno.	Rodillo de banda plana.
	
Rodillo de retorno autolimpiable.	Rodillo de retorno autoalineable.
	
Rodillo de retorno autolimpiable y autoalineable.	Repuestos.

Figura 1-12. Tipos de rodillos y disposición espacial. [7]

Tambores o poleas

A pesar de ser componentes sencillos, su forma constructiva y materiales han ido evolucionando en el transcurso del tiempo. Se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Motrices: encargados de transmitir las fuerzas tangenciales producidas por el grupo motor-reductor a la banda.
- No motrices: encargados de realizar el cambio de trayectoria de la banda.

Los componentes principales de los tambores son:

- Envolvente cilíndrica y discos laterales.
- Eje.
- Elementos de unión.

- Recubrimientos.

Los primeros tambores se construían con el eje de acero y envolvente y discos de madera. Posteriormente, la envolvente se construía de acero suave y los discos de fundición gris. Actualmente, se fabrican en construcción electro soldada, siendo el material del envolvente acero suave, y los discos, ya sea de acero suave o acero moldeado.

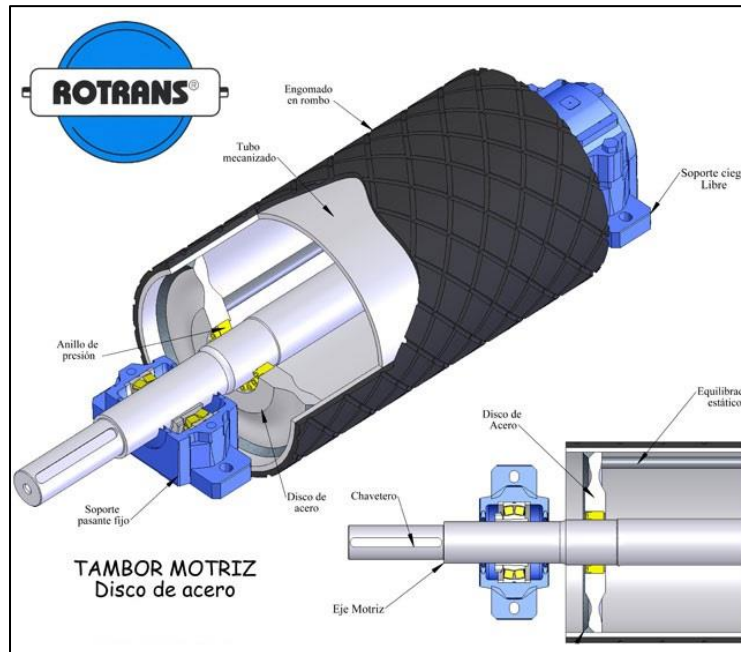


Figura 1-13. Estructura tambor motriz. [11]

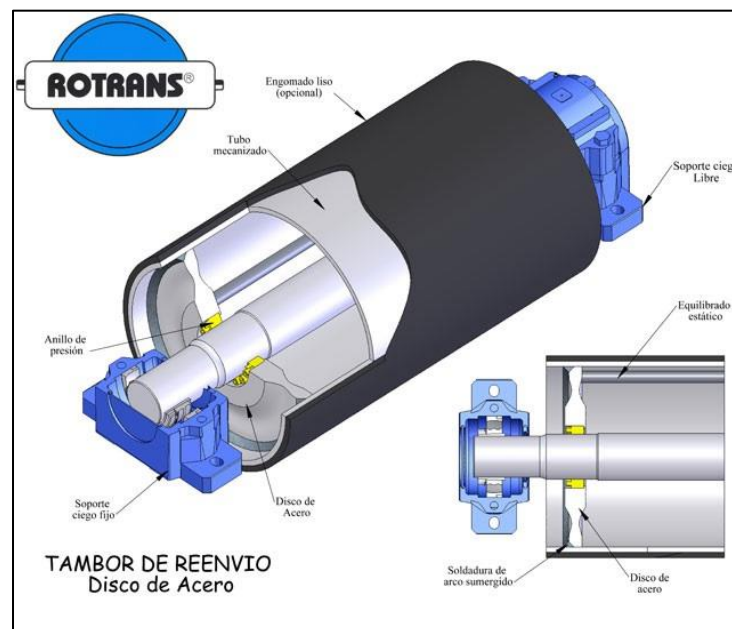


Figura1-14. Estructura tambor de reenvío. [11]

Tipos de tambor y sus funciones

Como se mencionó anteriormente, los tambores se pueden dividir en motrices y no motrices, pero también se subdividen en otros tipos dependiendo de la posición de estos sobre la banda, encontrándose la siguiente clasificación:

- **De reenvío:** situados en la cola.
- **Tensores:** situados en la cabeza o cola de la cinta, dependiendo de la ubicación del sistema de tensado.
- **De desvío:** ubicados generalmente en la estación tensora de cabeza.
- **De inflexión o presión:** encargados de aumentar el ángulo de arrollamiento entre tambor y banda, así como el valor del factor de transmisión.
- **De descarga:** Situados en los Trippers.

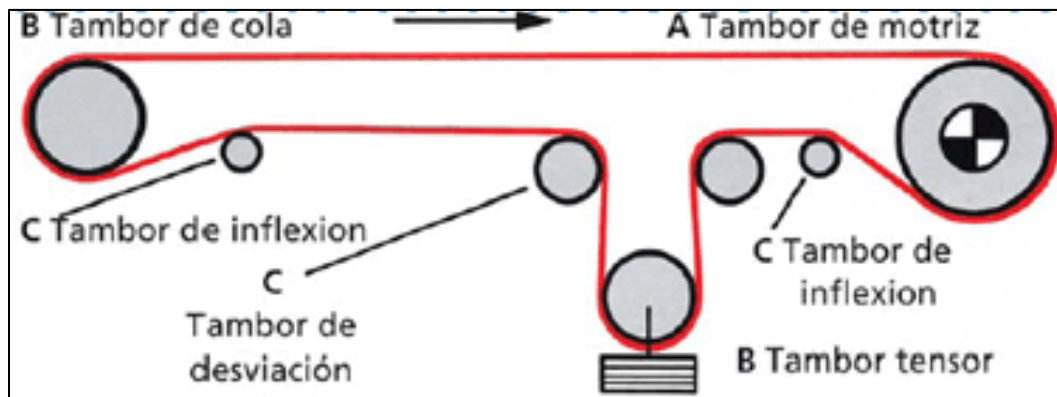


Figura 1-15. Ubicación tambores en sistema de correa transportadora. [15]

Tensores de la banda

Las principales funciones que cumple este sistema son:

- Lograr el adecuado contacto entre banda y tambor motriz, para que se efectúe la transmisión de fuerza desde el tambor a la banda, impidiendo el patinaje. Para ello es necesario aplicar una fuerza de valor adecuado en el lado de salida de la banda.
- Evitar derrames de material en las proximidades de los puntos de carga, motivados por la falta de tensión en la banda.
- Compensara las variaciones de longitud producidas en la banda, debido a la variación de la tensión de la correa, producto del aumento o disminución del caudal de material en la cinta o por el arranque y frenado de esta.

Tipos de tensores

Los tensores pueden clasificarse como se especifica a continuación.

Según forma constructiva:

- De lazo sencillo.
- De lazo múltiple.

Según la forma de aplicar la fuerza tensora:

- Automática.
- Fija.

Según el equipo mecánico que aplica la fuerza:

- Contrapeso gravitacional (figura 8).
- Husillo (figura 16).
- Huinche manual fijo.
- Huinche eléctrico fijo (figura 17).
- Huinche eléctrico automático.

Según la ubicación del equipo de tensado:

- En la cabeza.
- En la cola.



Figura 1-16. Sistema tensor de tornillo o husillo. [16]

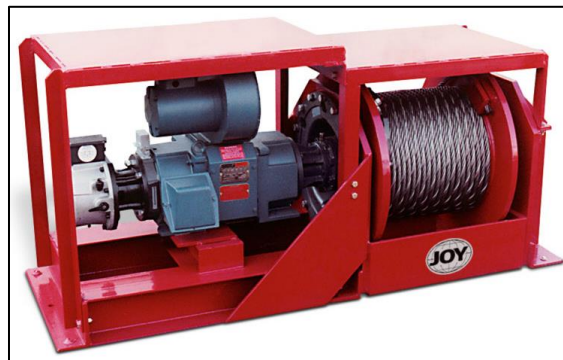


Figura 1-17. Sistema tensor huinche eléctrico fijo. [17]

Bastidores

Son la estructura encargada de dar soporte a las cargas de material, banda, rodillos y las posibles cubiertas de protección contra el viento, entre el punto de alimentación y el de descarga del material. Se encuentra compuesto por los rodillos, ramal superior e inferior y de la propia estructura de soporte.

Tipos de bastidores

Los bastidores se pueden clasificar en:

- **Bastidor formado por dos largueros metálicos:** Es la disposición constructiva más usada, siendo la más adecuada para el montaje de soportes de rodillos, empleada en cintas de bandas de gran ancho. Usualmente se trata de perfiles de acero laminado en “C”. Estos se apoyan en soportes que acostumbran ser del mismo perfil que los largueros, siendo la unión entre ambos rígida.
- **Bastidor tubular:** Conformado por tubos de perfil cuadrado o redondo, que se encuentran apoyados en soportes contruidos con los tubos del mismo tipo.
- **Bastidor colgante:** Compuesto por cables de acero que se tensan entre patas convencionales.
- **Bastidor auto resistente:** Destinado a salvar vanos de hasta 30 m, constituidos por una estructura de celosía, con uno o dos pasillos, siendo la propia celosía el bastidor.

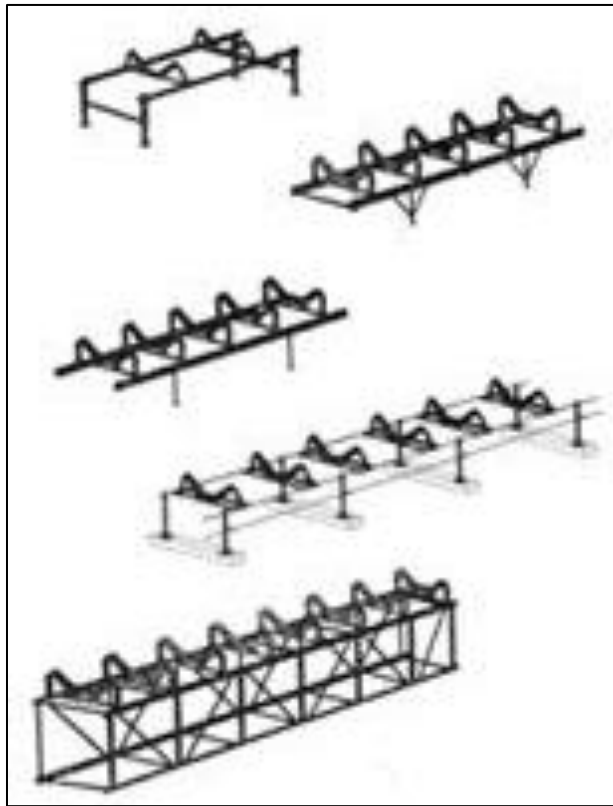


Figura 1-18. Bastidores de cintas transportadoras. [18]

Carga del transportador

La carga inicial de un circuito de transporte formado por correas transportadoras, se realiza generalmente, mediante alimentadores-extractores situados bajo una tolva. Este tipo de carga no suele originar problemas, por ser pequeña la velocidad del material a la salida de los alimentadores.

Descarga del transportador

Pueden considerarse dos tipos de descarga:

- **Descarga sobre otra cinta:** Es el caso más corriente en el diseño de cintas transportadoras. Este proceso da origen a problemas de tipo práctico en lo que se refiere a trayectorias del material, disposición geométrica de las diversas tolvas, elección de inclinación, amortiguamiento de los impactos del material y empleo de materiales adecuados para resistir la abrasión producida por el material.
- **Descarga a una pila, parque de materiales o una tolva:** La descarga sobre una pila cónica, al tratarse de una descarga libre, no presenta en general problemas, salvo la posible degradación del material y la producción de polvo. Por otra parte, en la descarga para la formación de parques o sobre tolvas longitudinales, el vertido se

realiza mediante carros Tripper, los cuales se encuentran dotas de tolvas con doble salida.

Equipos de Limpieza

La limpieza de las cintas transportadoras es un problema de gran importancia económica. Es curioso que los equipos de limpieza, siendo de bajo costo comparados con el total de la correa, se prescindan a veces de su utilización, cuando con una buena limpieza se pueden obtener ahorros importantes.

El principal problema que se presenta es la fugitividad, tendencia del material a escaparse de la vía principal. Esta se presenta principalmente en los lugares donde se cambia la dirección del flujo del material, tales como tolvas y guías de carga. Como consecuencia de la fugitividad se produce el ensuciamiento, siendo estas directamente proporcionales.

Para evitar los problemas mencionados, es necesario que exista un mantenimiento eficaz, llevando un control en los puntos críticos donde se produzca la fuga de material, con tal de poder dar solución de forma instantánea.

Tipos de raspadores

Los raspadores que actúan sobre el tambor motriz son los siguientes:

- **Raspador pendular de contrapeso, con tiras de goma:** Es el más popular, pero su eficacia es limitada. Se emplea en cintas sencillas sin grandes exigencias de limpieza. Se encuentra constituido por unas partes metálicas que soportan las tiras o tacos de goma.
- **Raspador principal con láminas de raspado independientes y tensión por brazo de torsión:** Aplica el principio de la espátula (ver figura 19). Es mucho más eficaz que el anterior, pero si el material es muy pegajoso este no se eliminara totalmente, limitando mucho su eficacia. Este problema se puede solucionar instalando un raspador previo.
- **Raspador previo:** Situado antes del principal, con tacos gruesos de goma como elementos de raspado y forma constructiva similar al raspador con láminas de raspado. Se emplea cuando el material es pegajoso y de difícil limpieza. El mayor problema con estos raspadores es la reposición de los elementos limpiadores cuando estos se han desgastado, debido al difícil acceso a estos.

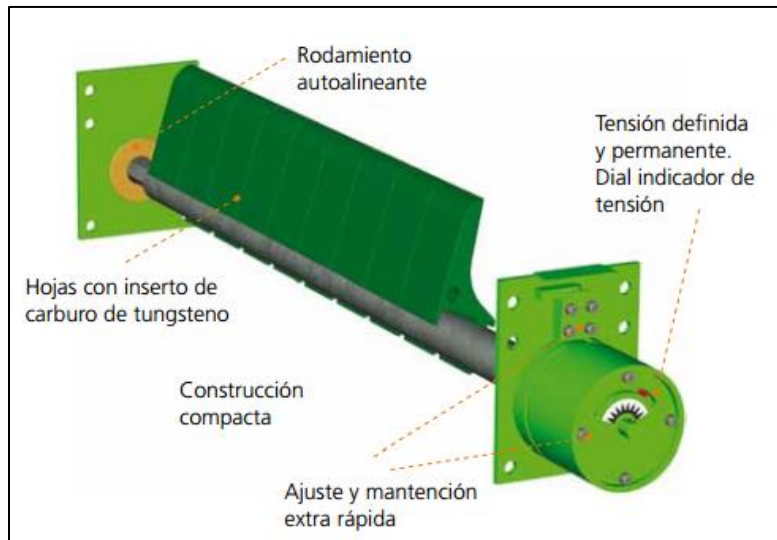


Figura 1-19. Raspador primario con sistema tensor por torsión. [16]

Existen otros tipos de rascadores que actúan sobre los demás tambores, por lo que se consideran de importancia secundaria. Estos son los siguientes:

- **Raspador en “V” con tiras de goma:** Impide que el material fugitivo, situado sobre la cara interna de la banda en el ramal inferior, penetre entre las láminas y el tambor de reenvío. (Figura 20).
- **Raspadores fijos en diagonal:** Consiste en una pletina o placa metálica que se sitúa próxima a la periferia de los tambores de desvío, para impedir la entrada del material pegado a la banda.

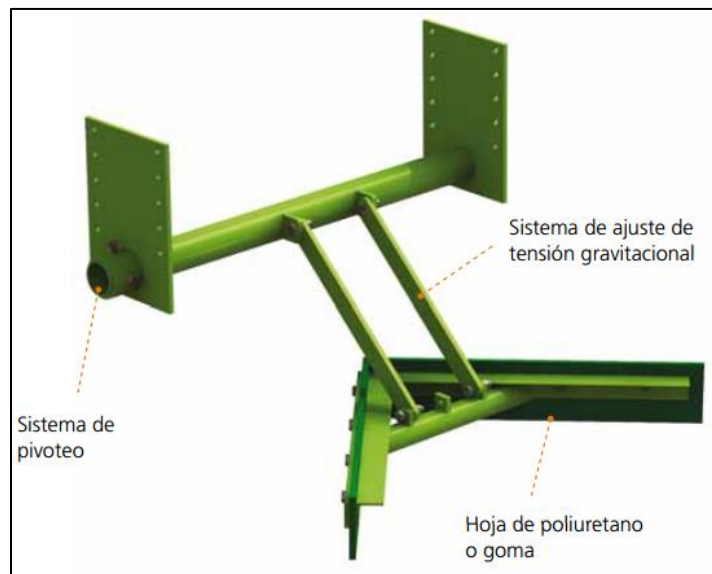


Figura 1-20. Raspador secundario en "V". [16]

Motor eléctrico

Junto con los acoplamientos, mecanismos anti retorno y frenos, constituyen el grupo motriz, encargado de dar el movimiento a la correa transportadora.

El motor, el reductor y el freno, se encuentran unidos en una bancada. En motores de baja potencia, el motor y el reductor forman una sola unidad, eliminándose la bancada.

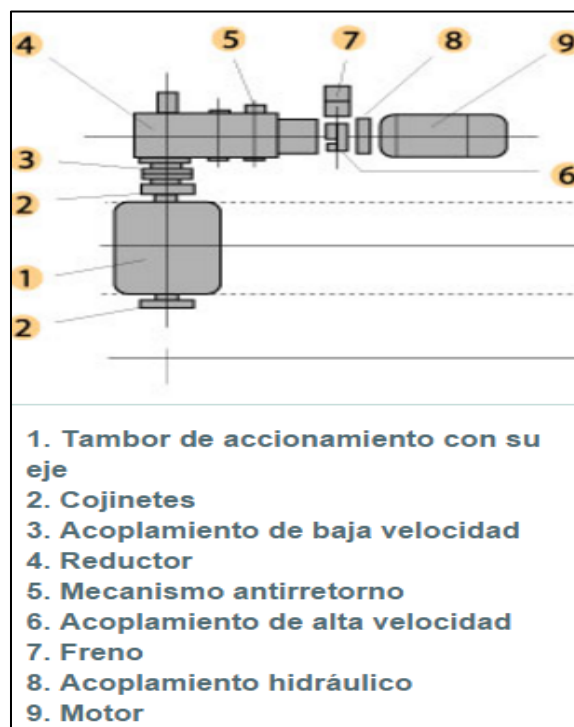


Figura 1-21. Grupo motriz correa transportadora. [18]

En correas transportadoras se utilizan principalmente motores de corriente alterna, encontrándose los siguientes tipos:

- De jaula de ardilla.
- De rotor bobinado.

Potencia

La potencia es la primera consideración a tomar en cuenta al momento de escoger un motor. Esta debe ser al menos igual a la potencia requerida en el eje de salida del reductor, considerando al mismo tiempo el rendimiento del mismo. En los casos en que haya posibilidades de sobrecarga de larga duración o no se tenga seguridad en el valor de la potencia calculada, se debe multiplicar el valor por un factor de servicio.

Desde el punto de vista del arranque, la elección de un motor sobredimensionado no es buena, al existir pares de arranque elevados y por tanto grandes aceleraciones si el arranque se efectúa de forma directa.

Es importante indicar que la potencia indicada en la placa característica de los motores, es la disponible en el eje de estos, considerando un trabajo continuo y a una temperatura estable.

Motores de corriente alterna

A continuación se mencionaran las características más destacadas de los motores de corriente alterna.

Motores jaula de ardilla:

- Curva par-velocidad no es la más adecuada para el arranque de las cintas.
- En la franja de trabajo entre el par máximo y el par 0, la curva par-velocidad es prácticamente lineal.
- No hay posibilidad de controlar el par.
- El número de arranques está limitado por el calentamiento del motor.
- Requiere poco mantenimiento.
- Son baratos.
- Son adecuados también para su empleo en cintas descendentes funcionando como generador.

Motores de rotor rebobinado:

- En la franja de trabajo, la variación del par es también prácticamente lineal.
- Es posible controlar el par en el arranque mediante resistencias rotóricas.
- El número de arranques puede ser más elevado que en los de jaula de ardilla, a consecuencia del menor calentamiento.
- Requieren más mantenimiento que los de jaula de ardilla.
- Son caros.
- Son adecuados también para su uso en cintas descendentes.

Acoplamientos

Se pueden clasificar en acoplamientos de alta velocidad y de baja velocidad. Al tratarse de componentes sencillos y puramente comerciales, no requieren de cálculos especiales. La elección de ellos se hace a través de los catálogos de los fabricantes, donde indican que los pares a transmitir deben multiplicarse por un factor de servicio comprendido entre 1,5 y 2.

Acoplamientos de alta velocidad

Se trata de dispositivos que transmiten el par desde el motor eléctrico al reductor de velocidad. Para su empleo en cintas transportadoras, existen dos tipos:

- **Acoplamientos elásticos:** Están constituidos por dos platillos metálicos enlazados por un elemento elástico, estando cada platillo unido a los ejes del motor o del reductor. El elemento elástico puede ser de goma o laminas flexibles. La función de este elemento además de transmitir el par, es la de amortiguar los golpes producidos durante el arranque y absorber las faltas de alimentación entre los ejes del motor y reductor.
- **Acoplamientos fluidos:** Se montan igual que los elásticos, enlazando los ejes del motor y reductor, siendo su función la de efectuar un arranque progresivo de la cinta, eliminando el impacto que se produce cuando se montan acoplamientos elásticos. Existen dos tipos: de llenado fijo y de llenado variable.

Acoplamientos de baja velocidad

Son aquellos que transmiten el par desde el eje de salida del reductor al tambor motriz de la cinta, existiendo principalmente dos tipos:

- **Acoplamientos elásticos:** En este caso, el acoplamiento con gomas está formado por cilindros de goma dura, alojados en los agujeros de los platillos, mientras que el acoplamiento de láminas flexibles se logra mediante el empleo de una lámina de acero curvada. Ambos acoplamientos no son capaces de transmitir grandes pares.
- **Acoplamientos de dientes arqueados:** Se trata de dos semi-platos, dentados exteriormente, engrandados mediante una corona dentada con dentado interior. El dentado exterior de los semi-platos, tiene sus dientes arqueados, lo cual permite cierta desalineación entre ellos, pudiendo transmitir grandes pares.

Reductores de velocidad

Se emplean dos tipos de reductores en cintas de gran potencia:

- **Reductor suspendido:** son de montaje flotante. Esta disposición presenta la ventaja de precisar un espacio reducido, suprimiendo la alineación entre el tambor y reductor. Por otra parte presenta el inconveniente de tener que desmontar el conjunto cuando se tiene que sustituir el tambor.
- **Reductor clásico:** Son los utilizados en las instalaciones grandes.

Frenos y mecanismos anti retorno

Los frenos más utilizados son los de disco, situados en el eje del reductor. En algunos casos, generalmente en cintas descendentes, se montan en el eje del tambor.

En las cintas con cierta pendiente, además del freno se dispone de un sistema anti retorno, cuya función consiste en retener la carga en las cintas inclinadas ascendentes, actuando como un elemento de seguridad. En cintas horizontales de gran tamaño, el frenado en la cabeza puede ser insuficiente, por lo que una solución adoptada consiste en colocar un freno de disco sobre el tambor de retorno.

1.3.4 Sistemas de tensado [12]

Debido a que la Memoria se encuentra orientado a la mejora de un sistema de tensado, se profundizará más en este componente.

Funciones

El propósito de los sistemas de tensores es:

- Asegurar una tensión de la correa para que no existan deslizamientos entre la correa y la polea motriz, para toda la condición de trabajo del transportador.
- Asegurar la correcta tensión de la correa en el sector de la carga, para evitar que entre polines, la correa tenga una flecha muy alta, que permita un derrame de material hacia el exterior.
- Compensar cambios de longitud de la correa debido a estiramientos por el uso.
- Mantener un largo de correa que permita los empalmes.

Cabe destacar que no es función del tensor de una correa, dar alineamiento a la polea tensora.

Tipos

En la actualidad se utilizan los siguientes tipos de tensores:

- Manuales:
 - De tornillos: Tienen por inconveniente, que requieren de frecuente inspección para ajustar el tensado, siendo muy difícil estimar las fuerzas de tensión aplicadas.
- Automáticos:
 - Gravitacionales.
 - Operados por potencia hidráulica, huinches, etc.

Los sistemas automáticos más comunes son los gravitacionales. Los huinches se emplean cuando existe poca disponibilidad de espacio o cuando se requiere que sean trasladables.

Dependiendo del tipo de tensor que se utilice, las tensiones necesarias a lo largo de toda la correa son distintas:

- El tensor por contrapeso entrega una tensión constante en la polea tensora.
- Un huinche eléctrico puede generar tensiones variables, pudiendo dar una tensión alta en la partida, una más baja durante la operación normal y otra durante la detención, lo que se logra mediante un sistema de control computarizado.
- Un tensor de tornillos proporciona una tensión media constante considerando la cinta de todo el transportador.

La tabla 4 muestra la comparación entre distintos tipos de tensores.

Tabla 1-4. Cuadro comparativo entre tensores de correas transportadoras.

Tipo de tensor	Costo Inversión	Costo Mantención	Uso principal	Tensión media de la cinta	Dificultad regulación tensado	Tecnología requerida
Tornillo	Bajo	Bajo	Correa corta	Alta	Alta	Baja
Cilindros hidráulicos	Medio	Medio - Alto	Correa corta	Baja a Alta (según control de presión y carrera)	Baja - Media	Media
Huinche con tensión fija	Medio	Medio	Correas medias a largas	Alta	Baja - Media	Media
Huinche con tensión variable	Alto	Alto	Correas medias a largas	Baja	Media - Alta	Alta
Tensor gravitacional	Medio	Bajo	Correas medias a largas	Media	Baja - Media	Baja

Para un mismo tonelaje y velocidad de un transportador, las tensiones de las cintas de los transportadores dependen del tipo de tensor que se emplee y de su ubicación.

Contrapeso gravitacional

Este tipo de sistema tensor, se encuentra en la categoría de los sistemas automáticos, siendo el que se usa comúnmente de esta categoría.

Se pueden instalar de forma horizontal, vertical o inclinada, dependiendo de los requisitos del sistema de transporte. Su ubicación depende de las condiciones de trabajo de la correa transportadora, siendo más económica su instalación en la polea de cola, ya que no se requiere una polea adicional. En correas inclinadas empinadas, el peso de la cinta y el sistema tensor, pueden proveer la tensión suficiente del lado flojo, para prevenir el derrame de material en la polea de accionamiento, sin necesidad de un contrapeso adicional.

En correas muy largas o ligeramente inclinadas, el sistema tensor debiera ser ubicado cerca del accionamiento, donde podrá actuar lo suficientemente rápido para evitar el derrame de material en la cinta, en la polea motriz, durante la aceleración y arranque. [13]

Contrapeso gravitacional con carro tensor [20]

El sistema de contrapeso con carro tensor está diseñado para proveer una tensión de funcionamiento constante a la cinta transportadora, lo que conlleva a mantener un factor de abrace fijo entre la cinta y la polea motriz, con lo que se evita que la cinta resbale durante la partida, el funcionamiento normal y la detención.

El sistema tensor gravitacional consiste en una polea tensora que se ubica debajo de la correa transportadora, con un peso determinado unido. Este arreglo le permite a la polea tensora moverse libremente en dirección vertical, durante el ajuste del estiramiento de la cinta. Ocasionalmente, la inclinación de la correa transportadora no es suficiente en comparación a su largo, lo que impide el movimiento vertical de la polea tensora. En casos como este, el contrapeso se ubica a un costado de la correa. El peso es unido a un carro tensor horizontal, mediante un cable de acero que pasa a través de un conjunto de roldanas hasta el carro (ver figura 22).

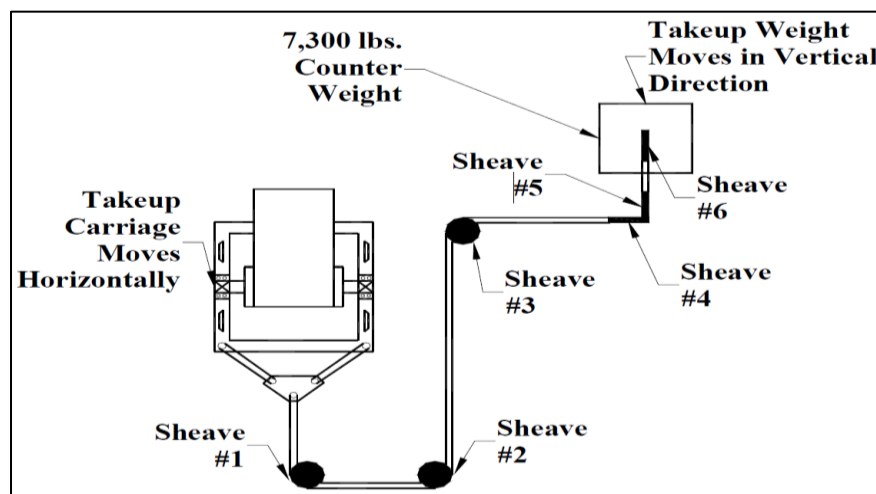


Figura 1-22. Esquema de sistema de tensado con contrapeso y carro tensor. [20]

1.4 Base de cálculo para correas transportadoras

Dado que la correa transportadora ya se encuentra diseñada y no se procederá a hacer ninguna modificación a esta, no es necesario introducirse en el cálculo de diseño de esta ni sus componentes básicos.

A continuación se detalla el método de cálculo a utilizar, basado en el Manual CEMA, para la determinación de tensiones y potencias en un sistema de correa transportadora.

1.4.1 Potencia [13]

La potencia necesaria para el accionamiento de la correa transportadora, se deriva de la tensión efectiva que se requiere en la polea de accionamiento para propulsar o contener el la correa cargada a la velocidad de diseño de la cinta.

$$P = Te * \frac{v}{33000}$$

Dónde:

P: Potencia para el accionamiento de la correa.	[hp]
Te: Tensión efectiva de la cinta.	[lbs]
v: Velocidad de diseño de la cinta.	[ft/min]

Para determinar la tensión efectiva de la cinta, Te, es necesario identificar y evaluar cada una de las fuerzas individuales que actúan sobre la cinta para el manejo de ésta desde la polea de accionamiento, cuya sumatoria entrega el valor de Te.

Las fuerzas involucradas son las siguientes:

1. La carga gravitacional para elevar o bajar el material transportado.
2. La resistencia a la fricción de los componentes y accesorios del sistema de transporte, mientras la cinta opera a la capacidad de diseño.
3. La resistencia a la fricción del material desde el momento en que comienza a ser transportado.
4. La fuerza requerida para acelerar el material continuamente desde el momento en que es alimentada la cinta.

La fórmula básica para el cálculo de la tensión efectiva es la siguiente:

$$Te = L * Kt * (Kx + Ky * Wb + 0,015 * Wb) + Wm * (L * Ky \pm H) + Tp + Tam + Tac$$

Dónde:

L: Longitud de la cinta.	[ft]
Kt: Factor de corrección por la temperatura del ambiente.	[-]
Kx: Factor de cálculo por la fricción de los bastidores, y la resistencia por deslizamiento entre la cinta y los rodillos del bastidor.	[lbs/ft]
Ky: Factor de cálculo por la combinación de la resistencia de la cinta y la resistencia de la carga a flexar, desde el momento en que la carga y la cinta se mueven sobre los bastidores.	[-]
Wb: Densidad lineal de la cinta.	[lbs/ft]
Wm: Distribución de peso del material por longitud de cinta.	[lbs/ft]
H: Altura que el material es elevado o bajado en la cinta.	[ft]
Tp: Tensión resultante de la resistencia de la correa a flexar alrededor de todas las poleas y la resistencia de las poleas a rotar sobre sus cojinetes.	[lbs]

Tam: Tensión resultante de la fuerza para acelerar el material continuamente desde el momento en que la cinta es alimentada. [lbs]

Tac: Tensión total por accesorios de la correa transportadora. [lbs]

1.4.2 Factores de cálculo [13]

A continuación se mencionan los tres factores de cálculo, involucrados en la fórmula de la tensión efectiva.

Factor de corrección por temperatura

La resistencia rotacional en los bastidores y la resistencia a la flexión de la cinta incrementan en tiempos fríos de operación. K_t es un factor que incrementa el valor calculado de la tensión de la cinta, con el objetivo de cubrir el aumento de la resistencia por la baja temperatura de operación.

La figura 23 muestra un gráfico de la variación de la constante en relación a la temperatura ambiente de trabajo.

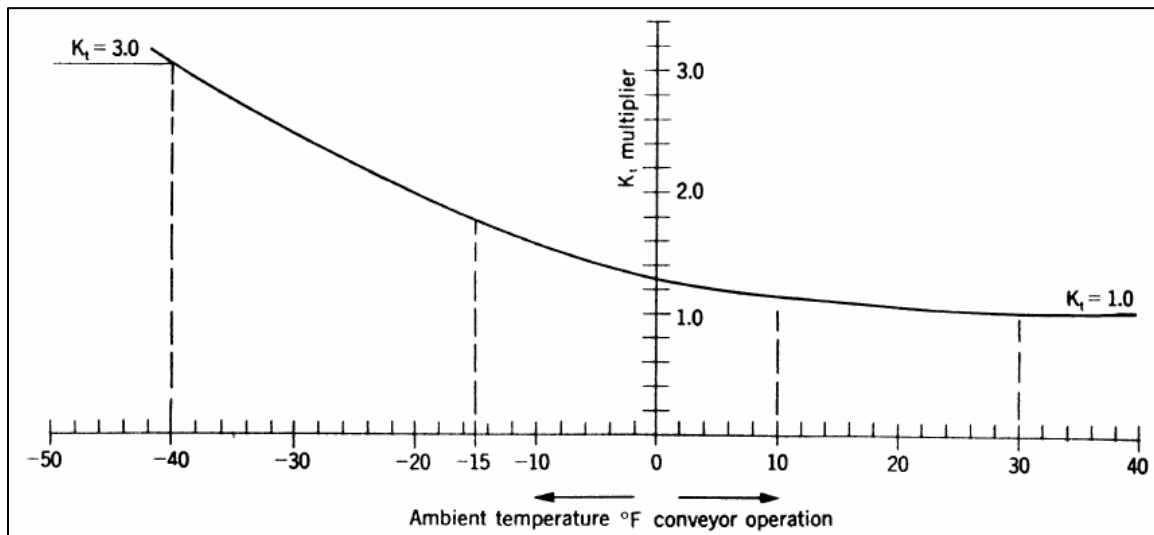


Figura 1-23. Variación del factor K_t en relación a la temperatura ambiente de trabajo. [13]

Factor por fricción del bastidor

Este factor hace referencia a la fuerza necesaria para rotar los rodillos de los bastidores, de carga y retorno, cubriendo también la resistencia por el deslizamiento de la cinta sobre los rodillos de los bastidores.

El valor de K_x para los rodillos de retorno se encuentra incluido en el factor 0,015 de la fórmula de la tensión efectiva. Por otro lado, para los rodillos de los bastidores de carga, el valor de K_x viene dado por la siguiente ecuación:

$$Kx = 0,00068 * (Wb + Wm) + \frac{Ai}{Si}$$

Con

$$Wm = Q * \frac{2000}{60 * v} = 33,33 * \frac{Q}{v}$$

Tabla 1-5. Pesos promedio por longitud de cinta Wb.

Ancho de la correa [pulg]	Material transportado [lb/ft³]		
	30-74	75-129	130-200
18	3,6	4	4,5
24	4,5	5,5	6
30	6	7	8
36	9	10	12
42	11	12	14
48	14	15	17
54	16	17	19
60	18	20	22
72	21	24	26
84	25	30	33
96	30	35	38

Tabla 1-6. Valores de Ai según el rodillo.

Tamaño rodillo	Tipo de rodillo	Ai
6"	C6, D6	1,5
5"	A5, B5, C5, D5	1,8
4"	A4, B4, C4	2,3
7"	E7	2,4
6"	E6	2,8

Dónde:

Ai: Factor de corrección según tipo de rodillo (ver tabla 6).

Si: Espaciamiento de los bastidores.

Q: Capacidad de la cinta.

v: Velocidad de la correa.

[-]

[ft]

[tph]

[ft/min]

Factor por flexión de la correa y la carga sobre los bastidores

Ambas resistencias desarrollan fuerzas de tensión en la correa, siendo K_y el factor multiplicador que se usa para el cálculo de dichas tensiones.

Los valores tabulados del factor K_y (tablas 8 y 9), varían con el espaciamiento de los bastidores, la inclinación de la correa transportadora y el peso de la correa y la carga.

En la tabla 7 aparecen tabulados los valores de espaciamiento a usar para entrar a las tablas 8 y 9, según el peso de la correa y la carga que transporta.

Tabla 1-7. Valores de espaciamiento de los bastidores para las tablas de K_y .

Wb+Wm [lbs/ft]	Si [ft]
<50	4,5
50 - 99	4
100 - 149	3,5
150≤	3

Tabla 1-8. Valores de Ky (a).

Conveyor length (ft)	$W_b + W_m$ (lbs per ft)	Percent slope						
		0	3	6	9	12	24	33
		Approximate degrees						
		0	2	3.5	5	7	14	18
250	20	0.035	0.035	0.034	0.031	0.031	0.031	0.031
	50	0.035	0.034	0.033	0.032	0.031	0.028	0.027
	75	0.035	0.034	0.032	0.032	0.030	0.027	0.025
	100	0.035	0.033	0.032	0.031	0.030	0.026	0.023
	150	0.035	0.035	0.034	0.033	0.031	0.025	0.021
	200	0.035	0.035	0.035	0.035	0.032	0.024	0.018
	250	0.035	0.035	0.035	0.035	0.033	0.021	0.018
	300	0.035	0.035	0.035	0.035	0.032	0.019	0.018
400	20	0.035	0.034	0.032	0.030	0.030	0.030	0.030
	50	0.035	0.033	0.031	0.029	0.029	0.026	0.025
	75	0.034	0.033	0.030	0.029	0.028	0.024	0.021
	100	0.034	0.032	0.030	0.028	0.028	0.022	0.019
	150	0.035	0.034	0.031	0.028	0.027	0.019	0.016
	200	0.035	0.035	0.033	0.030	0.027	0.016	0.014
	250	0.035	0.035	0.034	0.030	0.026	0.017	0.016
	300	0.035	0.035	0.034	0.029	0.024	0.018	0.018
500	20	0.035	0.033	0.031	0.030	0.030	0.030	0.030
	50	0.034	0.032	0.030	0.028	0.028	0.024	0.023
	75	0.033	0.032	0.029	0.027	0.027	0.021	0.019
	100	0.033	0.031	0.029	0.028	0.026	0.019	0.016
	150	0.035	0.033	0.030	0.027	0.024	0.016	0.016
	200	0.035	0.035	0.030	0.027	0.023	0.016	0.016
	250	0.035	0.035	0.030	0.025	0.021	0.016	0.015
	300	0.035	0.035	0.029	0.024	0.019	0.018	0.018
600	20	0.035	0.032	0.030	0.029	0.029	0.029	0.029
	50	0.033	0.030	0.029	0.027	0.026	0.023	0.021
	75	0.032	0.030	0.028	0.026	0.024	0.020	0.016
	100	0.032	0.030	0.027	0.025	0.022	0.016	0.016
	150	0.035	0.031	0.026	0.024	0.019	0.016	0.016
	200	0.035	0.031	0.026	0.021	0.017	0.016	0.016
	250	0.035	0.031	0.024	0.020	0.017	0.016	0.016
	300	0.035	0.031	0.023	0.018	0.018	0.018	0.018
800	20	0.035	0.031	0.030	0.029	0.029	0.029	0.029
	50	0.032	0.029	0.028	0.026	0.025	0.021	0.018
	75	0.031	0.029	0.026	0.024	0.022	0.016	0.016
	100	0.031	0.028	0.025	0.022	0.020	0.016	0.016
	150	0.034	0.028	0.023	0.019	0.017	0.016	0.016
	200	0.035	0.027	0.021	0.016	0.016	0.016	0.016
	250	0.035	0.026	0.020	0.017	0.016	0.016	0.016
	300	0.035	0.025	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018

Tabla 1-9. Valores de Ky (b).

Conveyor length (ft)	$W_b + W_m$ (lbs per ft)	Percent slope						
		0	3	6	9	12	24	33
		Approximate degrees						
		0	2	3.5	5	7	14	18
1000	50	0.031	0.028	0.026	0.024	0.023	0.019	0.016
	75	0.030	0.027	0.024	0.022	0.019	0.016	0.016
	100	0.030	0.026	0.022	0.019	0.017	0.016	0.016
	150	0.033	0.024	0.019	0.016	0.016	0.016	0.016
	200	0.032	0.023	0.017	0.016	0.016	0.016	0.016
	250	0.033	0.022	0.017	0.016	0.016	0.016	0.016
1400	300	0.033	0.021	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018
	50	0.029	0.026	0.024	0.022	0.021	0.016	0.016
	75	0.028	0.024	0.021	0.019	0.016	0.016	0.016
	100	0.028	0.023	0.019	0.016	0.016	0.016	0.016
	150	0.029	0.020	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
	200	0.030	0.021	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
2000	250	0.030	0.020	0.017	0.016	0.016	0.016	0.016
	300	0.030	0.019	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018
	50	0.027	0.024	0.022	0.020	0.018	0.016	0.016
	75	0.026	0.021	0.019	0.016	0.016	0.016	0.016
	100	0.025	0.020	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
	150	0.026	0.017	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
2400	200	0.024	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
	250	0.023	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
	300	0.022	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018
	50	0.026	0.023	0.021	0.018	0.017	0.016	0.016
	75	0.025	0.021	0.017	0.016	0.016	0.016	0.016
	100	0.024	0.019	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
3000	150	0.024	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
	200	0.021	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
	250	0.021	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
	300	0.020	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018
	50	0.024	0.022	0.019	0.017	0.016	0.016	0.016
	75	0.023	0.019	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
3000	100	0.022	0.017	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
	150	0.022	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
	200	0.019	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
	250	0.018	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
	300	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018

Para los casos en que el espaciamento sea distinto a los mencionados anteriormente, se debe utilizar la tabla 10, la cual introduce un factor de corrección para la determinación de Ky.

Tabla 1-10. Valores corregidos de Ky.

$W_b + W_m$ (lbs per ft)	S_p , (ft)	Reference values of K_y for interpolation									
		0.016	0.018	0.020	0.022	0.024	0.026	0.028	0.030	0.032	0.034
50	3.0	0.016	0.016	0.016	0.0168	0.0183	0.0197	0.0212	0.0227	0.0242	0.0257
	3.5	0.016	0.0160	0.0169	0.0189	0.0207	0.0224	0.0241	0.0257	0.0274	0.0291
	4.0	0.016	0.0165	0.0182	0.0204	0.0223	0.0241	0.0259	0.0278	0.0297	0.0316
	4.5	0.016	0.018	0.02	0.022	0.024	0.026	0.028	0.030	0.032	0.034
	5.0	0.0174	0.0195	0.0213	0.0236	0.0254	0.0273	0.0291	0.031	0.0329	0.0348
100	3.0	0.016	0.0165	0.0185	0.0205	0.0222	0.024	0.0262	0.0281	0.030	0.0321
	3.5	0.016	0.018	0.02	0.022	0.024	0.026	0.028	0.030	0.032	0.034
	4.0	0.0175	0.0193	0.0214	0.0235	0.0253	0.0272	0.0297	0.0316	0.0335	0.035
	4.5	0.0184	0.021	0.0230	0.0253	0.027	0.029	0.0315	0.0335	0.035	0.035
	5.0	0.0203	0.0225	0.0249	0.027	0.0286	0.0306	0.033	0.035	0.035	0.035
150	3.0	0.016	0.0164	0.0186	0.0205	0.0228	0.0246	0.0267	0.0285	0.0307	0.0329
	3.5	0.016	0.018	0.02	0.022	0.024	0.026	0.028	0.030	0.032	0.034
	4.0	0.0175	0.0197	0.0213	0.0234	0.0253	0.0277	0.0295	0.0312	0.033	0.035
	4.5	0.0188	0.0213	0.0232	0.0253	0.0273	0.0295	0.0314	0.033	0.0346	0.035
	5.0	0.0201	0.0228	0.0250	0.0271	0.0296	0.0316	0.0334	0.035	0.035	0.035
200	3.0	0.016	0.018	0.02	0.022	0.024	0.026	0.028	0.030	0.032	0.034
	3.5	0.0172	0.0195	0.0215	0.0235	0.0255	0.0271	0.0289	0.031	0.0333	0.0345
	4.0	0.0187	0.0213	0.0235	0.0252	0.0267	0.0283	0.0303	0.0325	0.0347	0.035
	4.5	0.0209	0.023	0.0253	0.0274	0.0289	0.0305	0.0323	0.0345	0.035	0.035
	5.0	0.0225	0.0248	0.0272	0.0293	0.0311	0.0328	0.0348	0.035	0.035	0.035
250	3.0	0.016	0.018	0.02	0.022	0.024	0.026	0.028	0.030	0.032	0.034
	3.5	0.0177	0.0199	0.0216	0.0235	0.0256	0.0278	0.0295	0.031	0.0327	0.0349
	4.0	0.0192	0.0216	0.0236	0.0256	0.0274	0.0291	0.0305	0.0322	0.0339	0.035
	4.5	0.021	0.0234	0.0253	0.0276	0.0298	0.0317	0.0331	0.0347	0.035	0.035
	5.0	0.0227	0.0252	0.0274	0.0298	0.0319	0.0338	0.035	0.035	0.035	0.035

1.4.3 Tensiones de la cinta [13]

Los factores mencionados anteriormente deben ser evaluados, como primer paso, para el desarrollo del cálculo de las tensiones que conforman la tensión efectiva requerida en la polea de accionamiento. A continuación se presentan los cálculos en orden de dichas tensiones.

Resistencia friccional en bastidores de carga y retorno

Viene dada por la siguiente ecuación:

$$Tx = L * Kx * Kt \quad [\text{lbs}]$$

Resistencia de la correa a flectar cuando se mueve sobre los bastidores

Esta tensión, se encuentra compuesta por la componente de los bastidores de carga (Tyc) y de retorno (Tyr).

$$Tyc = L * Ky * Wb * Kt \quad [\text{lbs}]$$

$$Tyr = L * 0,015 * Wb * Kt \quad [\text{lbs}]$$

$$Tyb = Tyc + Tyr \quad [\text{lbs}]$$

Resistencia del material a flectar cuando se mueve sobre los bastidores

Esta dada por la siguiente fórmula:

$$T_{ym} = L * K_y * W_m \quad [\text{lbs}]$$

Fuerza para elevar o bajar el material

Corresponde a la tensión necesaria para poder transportar el material a una zona de mayor o menor altura.

$$T_m = * \pm H * W_m \quad [\text{lbs}]$$

Resistencia de la correa a flectar sobre las poleas y de las poleas a rotar sobre sus cojinetes

La fricción de las poleas proviene de dos fuentes:

- La resistencia de la correa a flectar sobre las poleas, la cual es función del diámetro de la polea y de la rigidez de la correa, siendo esta última dependiente de la temperatura ambiente y de su fabricación.
- La resistencia de la polea a rotar, la cual es función de la fricción del cojinete en la chumacera, el lubricante y la fricción del sello. La fricción del cojinete depende de la carga que posee sobre sí mismo, no siendo así el caso de la fricción por el lubricante y el sello.

Ya que la fricción de la polea de accionamiento no afecta la tensión de la cinta, no se tendrá en cuenta para el cálculo de esta, pero si debe ser incluida en la determinación de la potencia total del eje del motor.

La tabla 11 muestra la tensión que se debe adicionar por cada polea en el sistema de correa transportadora, requerida para la rotación de cada una de estas.

Tabla 1-11. Tensión necesaria para la rotación de las poleas.

Ubicación de la polea	Ángulo de abrace de la correa [°]	Tensión por cada polea [lbs]
Lado tenso	150 - 240	200
Lado flojo	150 - 240	150
Otra	< 150	100

T_p es la sumatoria de la tensión agregada por cada polea.

Fuerza necesaria para acelerar el material continuamente desde que es descargado en la cinta

Cuando el material es descargado, no se puede asumir que el material se mueve en la dirección del viaje de la correa, aunque pueda darse el caso en algunos instantes. Normalmente, el material viaja a una velocidad más baja que la de la cinta y la dirección de este puede no estar completamente en la dirección de la cinta. Es por esto que el material debe ser acelerado hasta la velocidad de la cinta y en su misma dirección, dando origen a una tensión adicional efectiva.

La ecuación para determinar esta tensión, deriva de la segunda ley de Newton:

$$T_{am} = M * a$$

Con

$$M = \frac{W}{g}$$

$$W = Q * \frac{2000}{3600}$$

$$\frac{v}{60} = \frac{v_0}{60} + a * t \rightarrow a = \frac{v - v_0}{60 * t}$$

Dónde:

M: Masa acelerada del material.	[lbs]
a: Aceleración del material.	[ft/s ²]
W: Flujo de material acelerado	[lbs]
g: Aceleración de gravedad (32,17).	[ft/s ²]
v₀: Velocidad del material descargado.	[ft/min]
t: Intervalo de tiempo.	[min]

Finalmente, reemplazando los valores, se obtiene la siguiente ecuación:

$$T_{am} = 2,8755 \times 10^{-4} * Q * \frac{v - v_0}{t}$$

La figura 24 muestra un gráfico, con el cual se puede estimar la tensión T_{am} , mediante la aceleración del material desde el momento en que entra a la cinta.

Para utilizar el gráfico se deben seguir los siguientes pasos:

1. Entrar al gráfico con la velocidad de la correa y leer la tensión a 1000 [tph].
2. Entrar al gráfico con la velocidad inicial del material y leer la tensión a 1000 [tph].

- Restar a la tensión obtenida con la velocidad de la correa, la tensión obtenida con la velocidad del material, y luego transformar este valor a la capacidad real de la correa (Q).

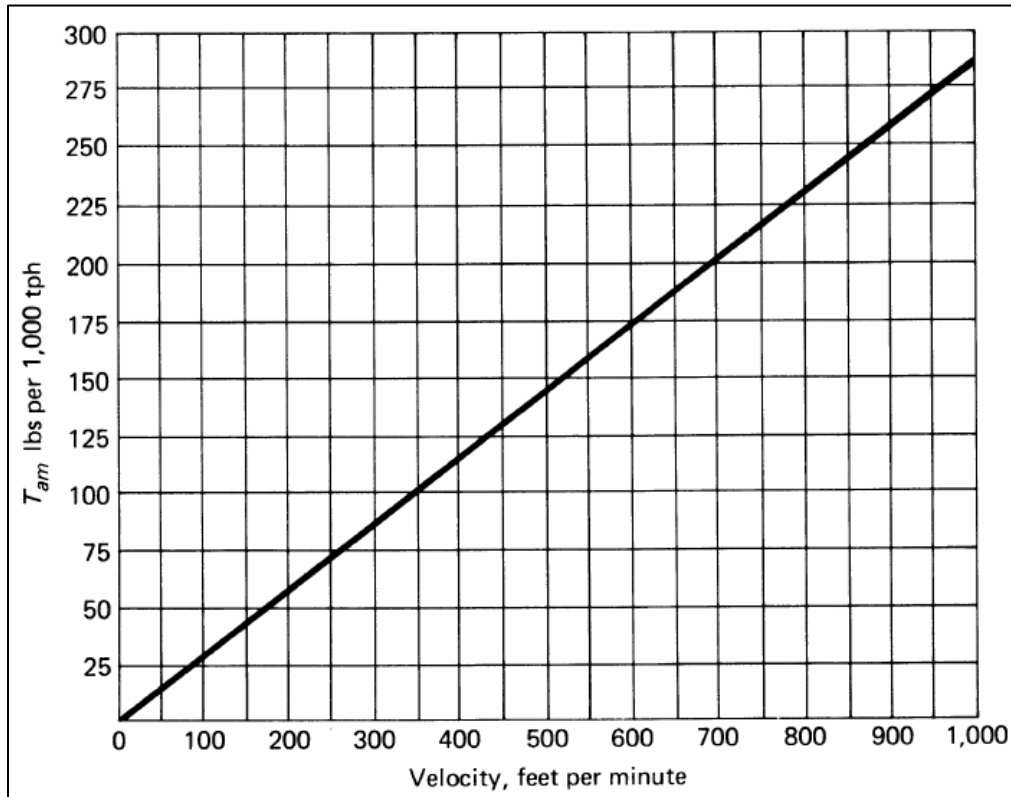


Figura 1-24. Tensión efectiva requerida para acelerar el material desde que entra a la cinta. [13]

Tensión por accesorios instalados en la correa transportadora

Esta tensión toma en cuenta la fricción provocada por el uso de raspadores y de guarderas en la zona de alimentación y descarga del mineral.

$$T_{ac} = T_{bc} + T_{sb}$$

Dónde:

T_{ac} : Tensión por accesorios instalados.	[lbs]
T_{yc} : Tensión por uso de raspadores.	[lbs]
T_{sb} : Tensión por uso de guarderas.	[lbs]

El valor de la tensión, por concepto de raspadores, es distinto según el tipo de raspador instalado, lo que se puede ver en la tabla 12.

Tabla1-12. Tensión adicional por raspadores.

Tipo de raspador	Tensión por cada raspador [lb/pulg ancho correa]
En "V"	5
Diagonal o recto	3

Por otro lado, la fuerza adicional requerida para vencer el roce en la zona de guarderas, es generalmente más grande que la fuerza necesaria para mover la cinta cargada sobre los bastidores. En caso que la longitud total de la correa transportadora sea un número grande de veces la porción de guarderas, la potencia adicional es casi despreciable.

El cálculo de la tensión necesaria para vencer el roce en las guarderas, viene dado por la siguiente fórmula:

$$Tsb = \frac{L_b * dm * hs^2}{288} * \frac{1 - \text{sen}\phi}{1 + \text{sen}\phi} + 3L_b$$

Dónde:

L_b: Largo de una guardera.	[ft]
dm: Densidad del material.	[lb/ft ³]
hs: Altura del material en contacto con la guardera.	[pulg]
ϕ: Ángulo de reposo del material.	[°]

La primera parte de la suma corresponde a la fuerza necesaria para vencer la fricción de la guardera metálica, mientras que la segunda parte corresponde a la fricción que se genera por la guardera de goma.

1.4.4 Relaciones de la polea de accionamiento [13]

La fuerza requerida para manejar un transportador de cinta debe ser transmitida desde la polea de accionamiento a la cinta por medio de la fricción entre ambas superficies de contacto.

Para transmitir la potencia, debe haber una diferencia de tensión en la cinta cuando ésta entra y luego sale de la polea de accionamiento. Esta diferencia de tensión debe ser suplida por la fuente de poder del accionamiento.

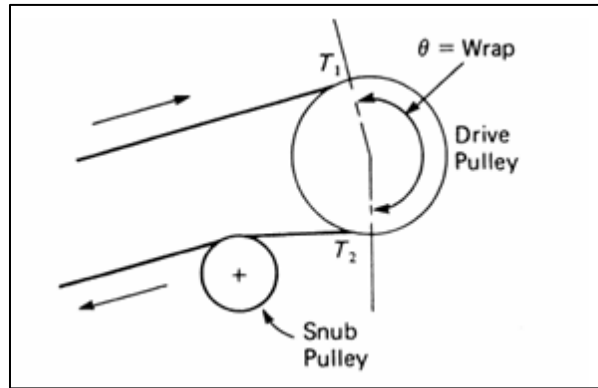


Figura 1-25. Polea simple de accionamiento en una correa inclinada u horizontal. [13]

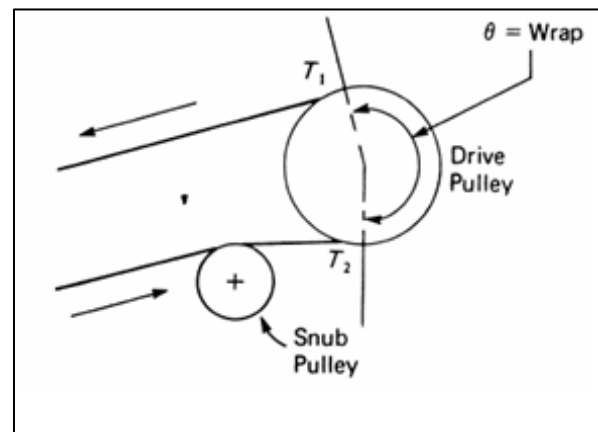


Figura 1-26. Polea simple de accionamiento en una correa declinada regenerativa. [13]

Cabe destacar que si la potencia es transmitida desde la polea a la cinta, el tramo de entrada de la cinta a la polea tendrá la tensión más grande (T_1) y la de salida (T_2) la más pequeña. En el caso que la potencia sea transmitida desde la cinta a la polea, como ocurre en una correa regenerativa declinada, la tensión de salida de la cinta será mayor que la de entrada.

Un término de gran importancia es el ángulo de abrace de la correa a la polea, el cual corresponde a la porción de circunferencia de contacto entre la cinta y la polea.

La fórmula que se menciona a continuación, se utiliza para evaluar la relación de accionamiento de la polea y establece el mínimo valor seguro de T_2 para una correa seca.

$$Cw = \frac{T_2}{T_1} = \frac{1}{e^{f \cdot \theta} - 1}$$

Con

$$T_e = T_1 - T_2$$

Dónde:

Cw: Factor de abrace (Tabla 13).	[-]
Te: Tensión efectiva de la cinta.	[lbs]
T1: Tensión del lado tenso.	[lbs]
T2: Tensión del lado flojo.	[ft/min]
f: Coeficiente de fricción entre la superficie de la polea y la cinta (Tabla 14).	[-]
θ: Ángulo de abrace de la correa a la polea ($1^\circ=0,0174$ rad).	[rad]

Tabla 1-13. Factores de abrace. [14]

Tipo de polea	Ángulo de abrace θ [°]	Tensor de tornillo		Tensor de gravedad	
		Polea lisa	Polea recubierta	Polea lisa	Polea recubierta
Recta	150	1,5	1	1,08	0,67
	160	1,4	0,9	0,9	0,6
	170	1,3	0,9	0,91	0,55
	180	1,2	0,8	0,84	0,5
De contacto	190	1,1	0,7	0,77	0,45
	200	1	0,7	0,72	0,42
	210	1	0,7	0,67	0,38
	220	0,9	0,6	0,62	0,35
	230	0,9	0,6	0,58	0,32
	240	0,8	0,6	0,54	0,3
Dual o Tándem	340	0,5	0,4	0,29	0,143
	360	0,5	0,4	0,26	0,125
	380	0,5	0,3	0,23	0,108
	400	0,5	0,3	0,21	0,095
	420	0,4	0,3	0,19	0,084
	440	-	-	0,17	0,074
	460	-	-	0,15	0,064
	480	-	-	0,14	0,056

Tabla 1-14. Coeficientes de fricción. [19]

Superficie de la polea / condición	Coeficiente de fricción f
Sin recubrimiento y mojado	0,15
Recubierto con goma, mojado y sucio	0,3
Sin recubrimiento y seco	0,35
Recubierto con goma y seco	0,4

1.4.5 Análisis de tensiones en la cinta [13]

Tensión máxima en la cinta

La máxima tensión de operación de la cinta se define como la tensión que ocurre cuando la cinta está transportando la carga de diseño continuamente desde el punto de carga hasta la descarga. Esta ocurre usualmente en el punto de descarga, para una correa transportadora horizontal o inclinada, y en el punto de carga en el caso de una correa declinada regenerativa.

Tensión máxima de arranque y detención

El torque de arranque del motor eléctrico puede ser más de dos veces y media la capacidad del motor a carga completa. Dicho torque origina una tensión de arranque mayor que la tensión de operación de la cinta. Para la prevención del debilitamiento progresivo de los empalmes y la subsecuente falla, tales arranques deben ser evitados y controlados. Por su parte, ocurre el mismo problema con la tensión si la cinta se lleva al reposo muy rápido, especialmente en correas declinadas regenerativas, debido a la inercia de la cinta cargada que puede provocar una tensión muy alta.

La tensión máxima recomendada para el arranque de la correa es de un 150% de la tensión de trabajo permisible por la cinta.

Tensión mínima en la cinta

Para las correas transportadoras donde no se les sobrecarga el accionamiento, la mínima tensión sobre el camino de carga usualmente ocurre en la alimentación. Por otra parte, en las correas donde se les sobrecarga su accionamiento, la mínima tensión ocurre en la descarga.

Relación de tensión y flecha de la cinta entre bastidores

La flecha entre los bastidores está relacionada directamente con el peso del material y la cinta, el espaciamiento entre bastidores y la tensión de la cinta.

Para correas transportadoras con largos centros, es práctico variar el espaciamiento de los bastidores, emparejando la flecha catenaria de la cinta cuando la tensión se incrementa.

La ecuación básica para la flecha en una catenaria puede expresarse de la siguiente manera:

$$Y = Si^2 * \frac{Wb + Wm}{8 * T}$$

Dónde:

Y: Flecha entre bastidores.

[ft]

T: Tensión en la cinta.

[lbs]

La experiencia ha mostrado que cuando se presenta una flecha mayor al 3% del espaciamiento entre bastidores, ocurre derramamiento de material. Utilizando este valor de referencia, la ecuación de la flecha queda así:

$$\frac{3}{100} * Si = Si^2 * \frac{Wb + Wm}{8 * T}$$

Haciendo la simplificación y aplicándolo para otros valores característicos de flechas (tabla 15), se obtiene:

$$\begin{aligned} 3\% \text{ de flecha} & \quad T_o = 4,20 * Si * (Wb + Wm) \\ 2\% \text{ de flecha} & \quad T_o = 6,25 * Si * (Wb + Wm) \\ 1,5\% \text{ de flecha} & \quad T_o = 8,40 * Si * (Wb + Wm) \end{aligned}$$

Con

To: Tensión que limita la flecha de la cinta en el punto de tensión mínima. [lbs]

Tabla 1-15. Flecha recomendada para varias condiciones de carga completa.

Ángulo de artesa [°]	Material		
	Fino	Mitad de tamaño máximo	Tamaño máximo
20	3%	3%	3%
35	3%	2%	2%
45	3%	2%	1,5%

Tensión del lado flojo

La tensión mínima requerida para evitar el deslizamiento de la cinta, es el producto de $T_e * C_w$. Sin embargo, el valor a ser usado como tensión mínima sobre el camino de carga es T_o , sumándole algebraicamente T_b y T_{yr} . El valor de T_2 que se considera, es el mayor de los mencionados.

$$T_2 = T_o \pm T_b \pm T_{yr}$$

$$T_2 = T_e * C_w$$

Con:

$$T_b = H * Wb$$

$$T_{yr} = 0,015 * L' * Wb * Kt$$

Dónde:

Tb: Tensión por carga en la cima de la correa con pendiente. [lbs]

T_{yr} : Tensión de fricción de la correa en el retorno.	[lbs]
L' : Longitud entre centros de poleas terminales.	[ft]

Ejemplos de configuración de poleas y sus tensiones

A continuación se ilustraran configuraciones, en las cuales la polea motriz o de accionamiento, se ubica en la cabeza o en la cola. Además se incluye el análisis apropiado de sus tensiones.

Para facilitar su comprensión, se presenta la nomenclatura asociada:

T_{cx} : Tensión de la cinta en el punto x sobre el camino de carga.	[lbs]
T_{rx} : Tensión de la cinta en el punto x sobre el camino de retorno.	[lbs]
T_t : Tensión de la cinta en la polea de cola.	[lbs]
T_{hp} : Tensión de la cinta en la polea principal.	[lbs]
T_{wcx} : Tensión en el punto x sobre el camino de carga, debido al peso de la cinta y el material.	[lbs]
T_{fcx} : Tensión en el punto x sobre el camino de carga, debido a la fricción.	[lbs]
T_{wrx} : Tensión en el punto x sobre el camino de retorno debido al peso de la cinta vacía.	[lbs]
T_{frx} : Tensión en el punto x sobre el camino de retorno debido a la fricción.	[lbs]
L_x : Distancia desde la polea de cola al punto x a lo largo de la cinta.	[ft]
H_x : Distancia vertical desde la polea de cola hasta el punto x.	[ft]

Siendo las siguientes fórmulas comunes para todos ejemplos a mostrar:

$$T_{wcx} = Hx * (Wb + Wm)$$

$$T_{fcx} = Lx * (Kt * Kx + Ky * Wb) + Lx * Ky * Wm$$

$$T_{wrx} = Hx * Wb$$

$$T_{frx} = 0,015 * Lx * Wb * Kt$$

$$Te = T1 - T2$$

Las demás tensiones se calculan de manera particular según la configuración.

Polea de accionamiento en la cabeza en correa horizontal o inclinada

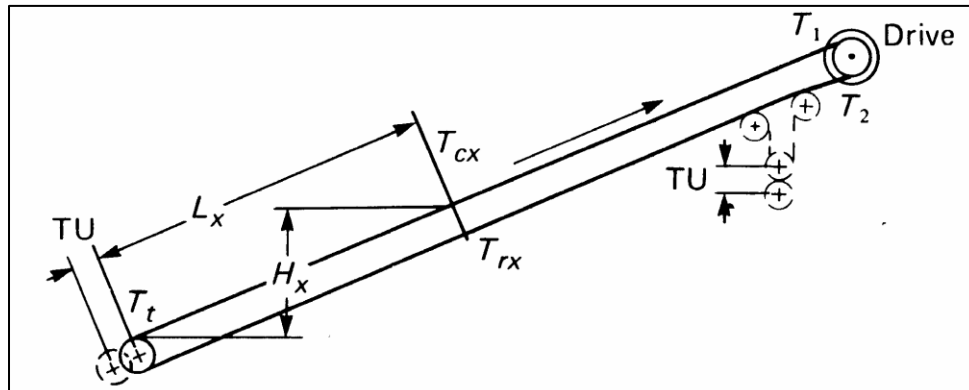


Figura 1-27. Correa inclinada con polea motriz en la cabeza. [13]

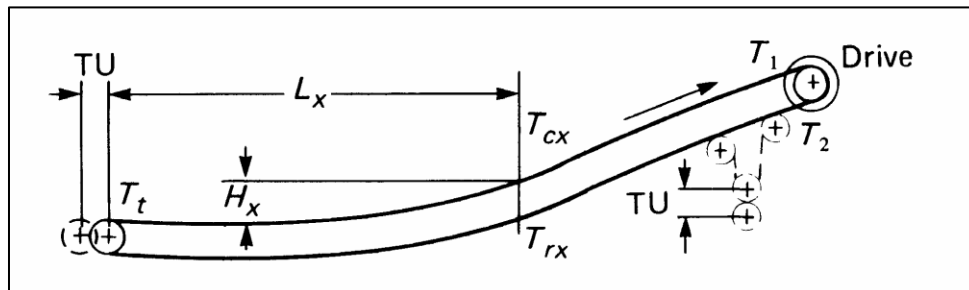


Figura 1-28. Correa horizontal con curva vertical cóncava y polea motriz en la cabeza. [13]

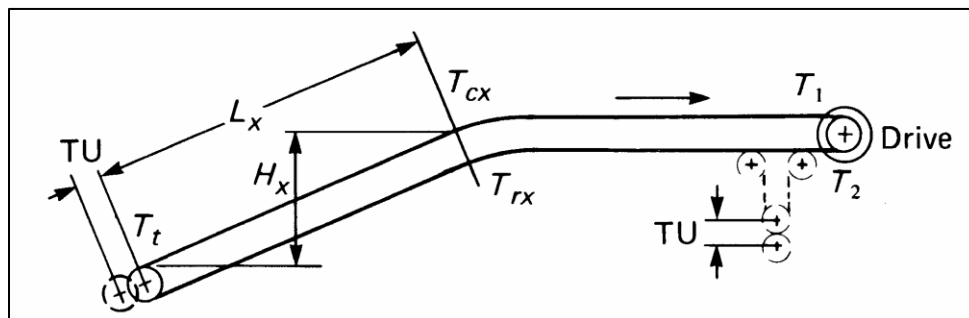


Figura 1-29. Correa horizontal con curva vertical convexa y polea motriz en la cabeza. [13]

Fórmulas asociadas:

$$T2 = Cw * Te$$

$$T2 = Tt + Tb - Tyr$$

Usar el valor más alto.

$$Tt = To$$

$$Tt = T2 - Tb + Tyr$$

Usar el valor más alto.

$$T_t = T_{min}$$

$$T_1 = T_{max}$$

$$T_{cx} = T_t + T_{wcx} + T_{fcx}$$

$$T_{rx} = T_t + T_{wrx} - T_{frx}$$

Polea de accionamiento en la cabeza en correa declinada no regenerativa

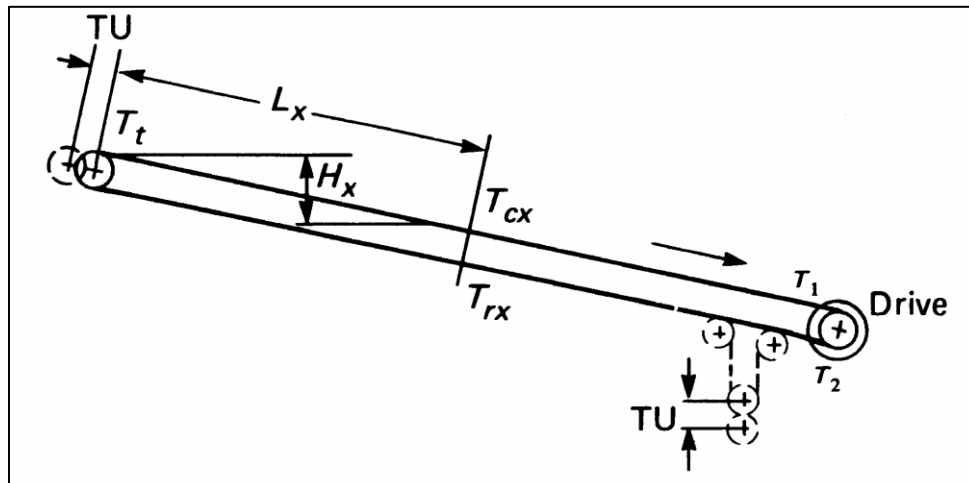


Figura 1-30. Correa declinada, no regenerativa y con polea motriz en la cabeza. [13]

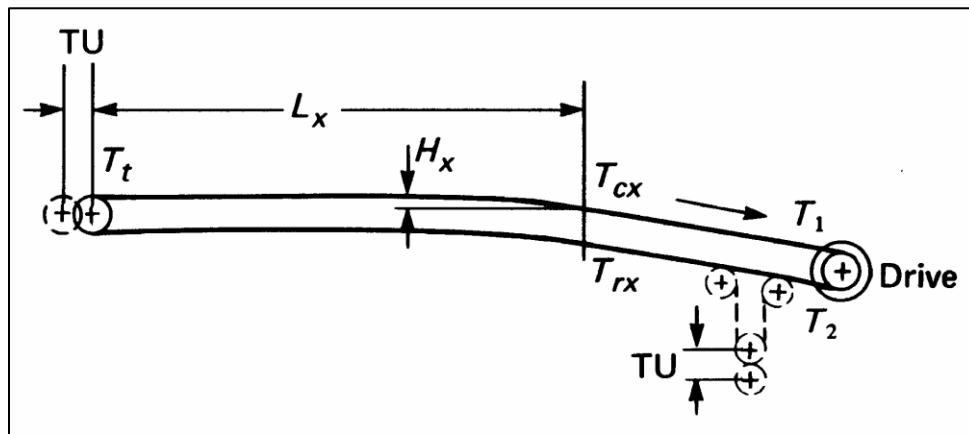


Figura 1-31. Correa no regenerativa, con curva vertical convexa y polea motriz en la cabeza. [13]

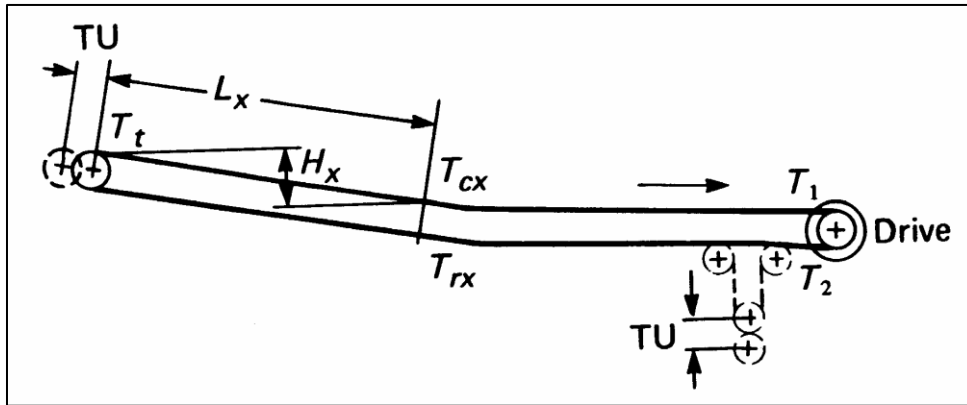


Figura 1-32. Correa no regenerativa, con curva vertical cóncava y polea motriz en la cabeza. [13]

Fórmulas asociadas:

$$T2 = Cw * Te$$

$$T2 = To - Te$$

Usar el valor más alto.

$$T1 = Te + T2$$

$$Tt = T2 + Tb + Tyr$$

$$Tmax = Tt$$

$$Tmax = T1$$

$$Tmin = Tt$$

$$Tmin = T1$$

$$Tcx = Tt - Twcx + Tfcx$$

$$Trx = Tt - Twrx - Tfrx$$

Polea de accionamiento en la cabeza en correa declinada regenerativa

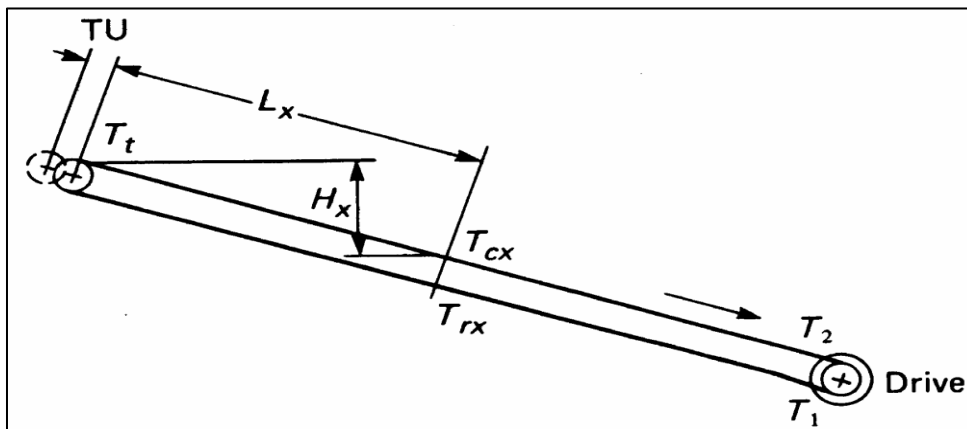


Figura 1-33. Correa declinada regenerativa, con polea motriz en la cabeza. [13]

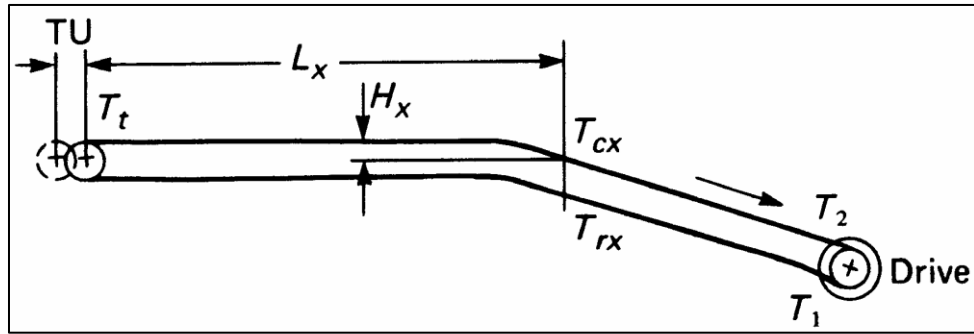


Figura 1-34. Correa regenerativa, con curva vertical convexa y polea motriz en la cabeza. [13]

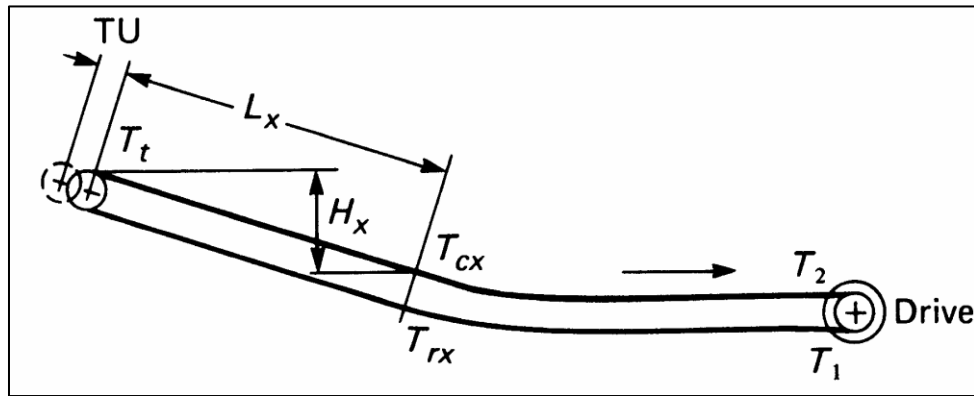


Figura 1-35. Correa regenerativa, con curva vertical cóncava y polea motriz en la cabeza. [13]

Fórmulas asociadas:

$$T_2 = C_w * T_e$$

$$T_2 = T_o$$

Usar el valor más alto.

$$T_t = T_{max}$$

$$T_t = T_1 + T_b + T_{yr}$$

$$T_{min} = T_2$$

$$T_{cx} = T_t - T_{wcx} + T_{fcx}$$

$$T_{rx} = T_t - T_{wrx} - T_{frx}$$

Polea de accionamiento en la cola en correa horizontal o inclinada

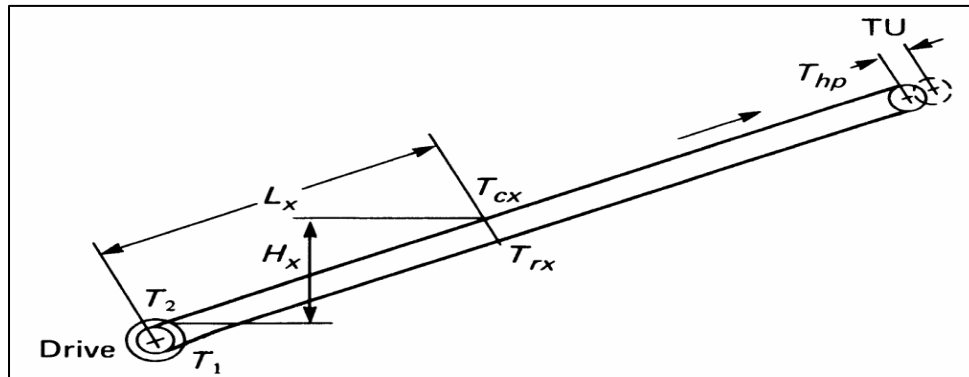


Figura 1-36. Correa inclinada con polea motriz en la cola. [13]

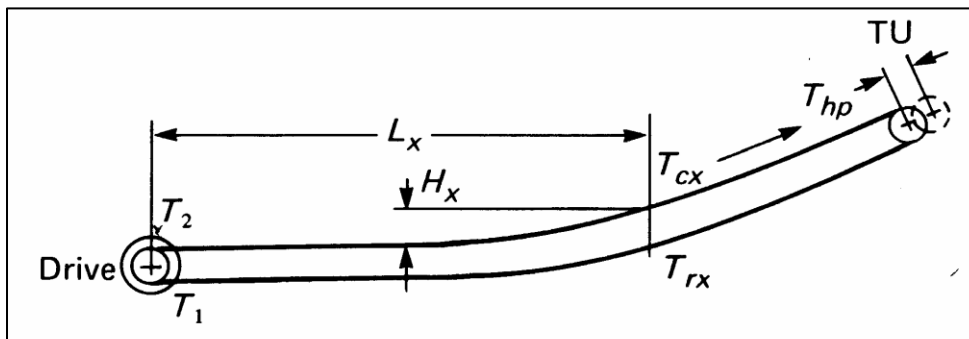


Figura 1-37. Correa horizontal con curva vertical cóncava y polea motriz en la cola. [13]

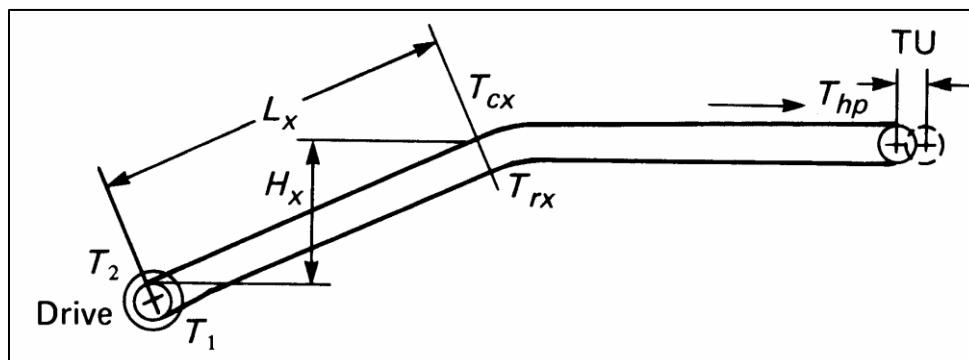


Figura 1-38. Correa horizontal con curva vertical convexa y polea motriz en la cola. [13]

Fórmulas asociadas:

$$T_2 = C_w * T_e$$

$$T_2 = T_o$$

Usar el valor más alto.

$$T_t = T_2$$

$$T_{min} = T_2$$

$$T_{hp} = T_1 - T_{yr} + T_b$$

$$T_{max} = T_1$$

$$T_{cx} = T_2 - T_{wcx} + T_{fcx}$$

$$T_{rx} = T_1 - T_{wrx} - T_{frx}$$

Polea de accionamiento en la cola en correa declinada no regenerativa

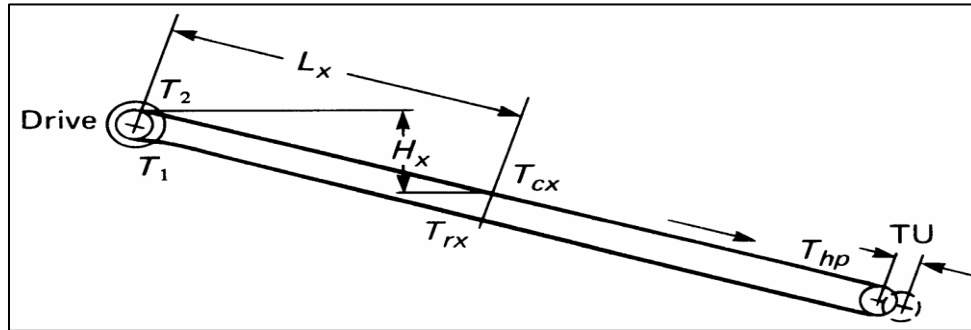


Figura 1-39. Correa declinada, no regenerativa y con polea motriz en la cola. [13]

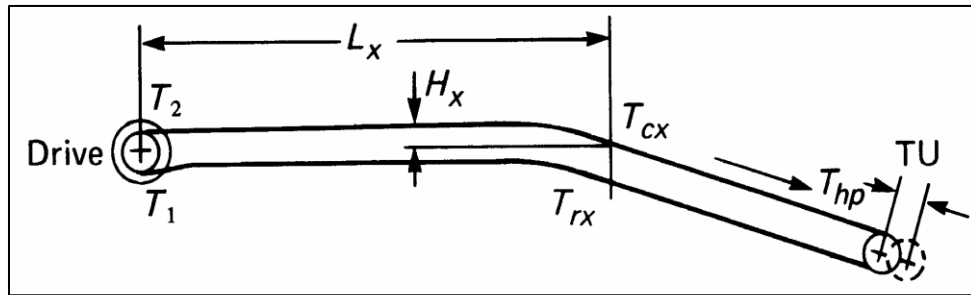


Figura 1-40. Correa no regenerativa, con curva vertical convexa y polea motriz en la cola. [13]

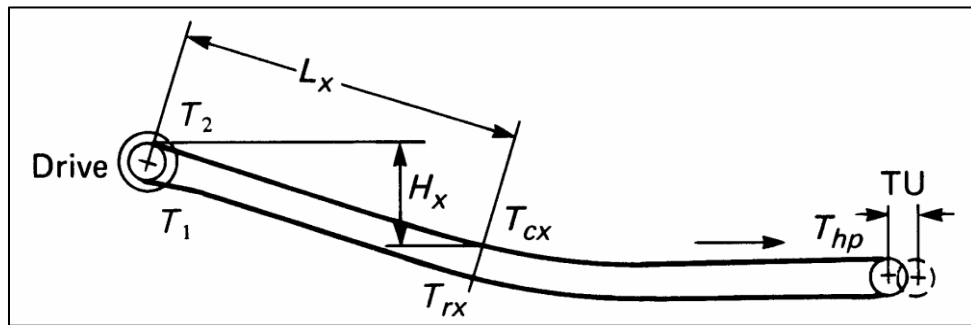


Figura 1-41. Correa no regenerativa, con curva vertical cóncava y polea motriz en la cola. [13]

Fórmulas asociadas:

$$T_2 = C_w * T_e$$

$$T_2 = T_{hp} + T_b + T_{yr} - T_e$$

Usar el valor más alto.

$$Thp = To$$

$$Thp = T1 - Tb - Tyr$$

Usar el valor más alto.

$$Tmin = Th$$

$$T1 = Te + T2$$

$$Tmax = T1$$

$$Tcx = T2 - Twcx + Tfcx$$

$$Trx = T1 - Twrx - Tfrx$$

Polea de accionamiento en la cola en correa declinada regenerativa

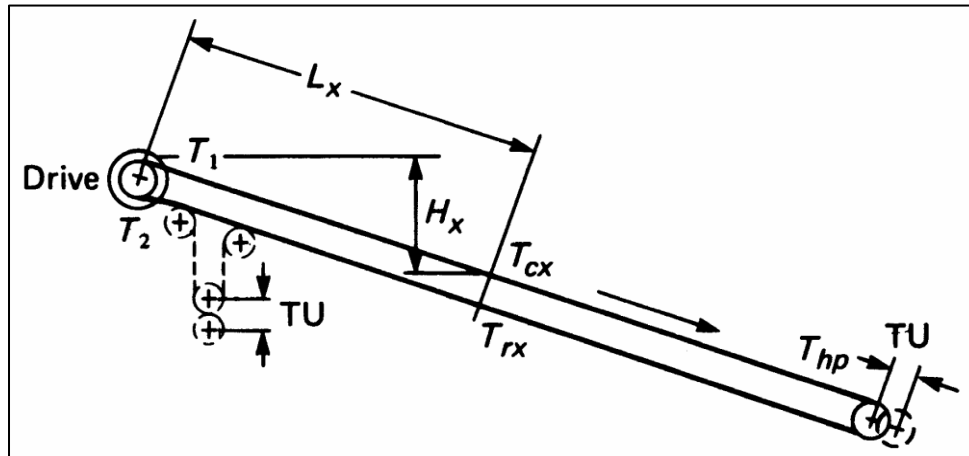


Figura 1-42. Correa declinada, regenerativa y con polea motriz en la cola. [13]

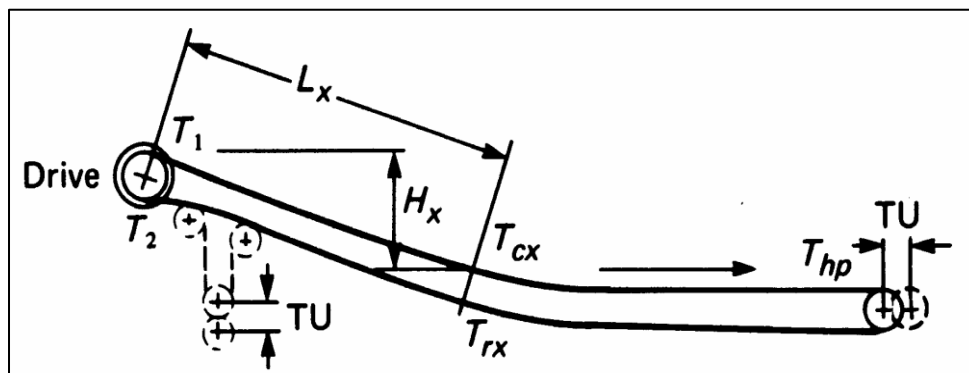


Figura 1-43. Correa regenerativa, con curva vertical cóncava y con polea motriz en la cola. [13]

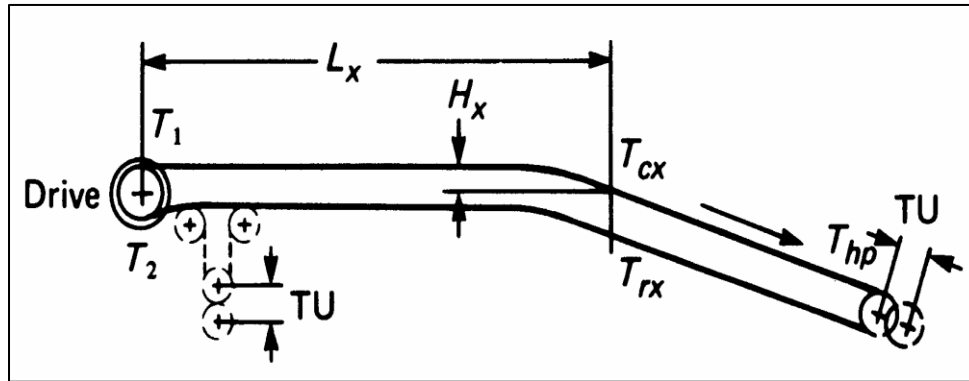


Figura 1-44. Correa regenerativa, con curva vertical convexa y con polea motriz en la cola. [13]

Fórmulas asociadas:

$$T_2 = C_w * T_e$$

$$T_2 = T_o + T_b + T_{yr}$$

Usar el valor más alto.

$$T_{hp} = T_o$$

$$T_{hp} = T_2 - T_b - T_{yr}$$

$$T_{min} = T_{hp}$$

$$T_1 = T_e + T_2$$

$$T_{max} = T_1$$

$$T_{cx} = T_1 - T_{wcx} + T_{fcx}$$

$$T_{rx} = T_2 - T_{wrx} - T_{frx}$$

Fuerzas de aceleración y desaceleración

Aceleración

Es llevada a cabo, generalmente, por un motor eléctrico.

La fuerza resultante está determinada de distintas formas según el caso:

- Correa horizontal: Inercia más la fricción.
- Correa inclinada: Inercia más la fricción y la elevación de la carga.
- Correa declinada: Inercia más la fricción menos la bajada de la carga.

Desaceleración

Es llevada a cabo por un freno.

La fuerza resultante está determinada de distintas formas según el caso:

- Correa horizontal: Inercia menos la fricción.

- Correa inclinada: Inercia menos la fricción y la elevación de la carga.
- Correa declinada: Inercia menos la fricción más la bajada de la carga.

Cálculo

Puesto que la aceleración está definida como la segunda derivada del desplazamiento con respecto al tiempo, y la desaceleración es simplemente la aceleración negativa, el tiempo pasa a ser la variable básica para computar la fuerza cuando se ha de aplicar la segunda ley de Newton para el cálculo.

$$F = M' * a$$

Con

$$M' = \frac{We}{g}$$

Dónde:

F: Fuerza de aceleración o desaceleración.	[lbs]
M': Masa.	[slugs]
a: Aceleración.	[ft/s ²]

Para la realización de los cálculos se puede asumir que la cinta y la carga se están moviendo en línea recta. Las partes del sistema que rotan, tales como poleas, rodillos de los bastidores y otras partes rotativas de accionamiento, se les tomarán las propiedades dinámicas que permitirán hacer una equivalencia de masas que se usará en la ecuación de la fuerza.

Para los cuerpos rotativos, la masa real distribuida alrededor del centro de rotación, es equivalente en su efecto a la masa completa concentrada a una distancia K desde ese centro.

$$Wcreq = (Wcr * K^2) * \left(2 * \pi * \frac{rpm}{v}\right)^2$$

Dónde:

Wcreq: Peso equivalente del cuerpo rotatorio.	[lbs]
Wcr: Peso del cuerpo rotatorio.	[lbs]
K: Radio polar de giro.	[ft]
v: Velocidad de la cinta	[ft/min]

Los valores de Wcr*K², los cuales son difíciles de computar excepto para formas muy simples, deben ser obtenidos de los fabricantes de cada componente.

Las fórmulas mencionadas hacen referencia únicamente a las provocadas por la inercia de las partes en movimiento de la correa, del accionamiento y la carga en movimiento. Las demás fuerzas resultantes involucradas son: la de fricción y la de elevación y bajada de la cinta y carga. Estas representan las componentes del peso de la cinta y la carga, en dirección del movimiento de la cinta en las distintas secciones de la correa.

Fuerza del sistema de tensado gravitacional

El sistema de tensado automático por gravedad, deber proveer una fuerza igual al doble de la tensión requerida en la cinta, en el lugar que se encuentre instalado. Esta fuerza es suplida por un contrapeso de acero, fundición, concreto u otro material pesado. También puede darse el caso en que la fuerza fuera menor, lográndose el valor deseado a través de los factores multiplicativos asociados a un sistema de roldanas y cables.

Para el cálculo de la tensión requerida en el sistema tensor gravitacional, se tiene la siguiente fórmula:

$$Tg = \frac{(2 * T + Wf - Wp)}{R1}$$

Donde:

Tg: Fuerza peso del sistema tensor gravitacional.	[lbs]
T: Tensión de la cinta en la ubicación del sistema tensor.	[lbs]
Wf: Fuerza para vencer el roce de los elementos del sistema tensor.	[lbs]
Wp: Componente de la fuerza peso del sistema tensor, en dirección de la resultante de la carga de la polea.	[lbs]
R1: Factor por cualquier ventaja mecánica que se provea.	[-]

Además de la fuerza requerida en el sistema tensor, también es de importancia determinar el límite de desplazamiento del sistema, con el fin de que la correa trabaje correctamente. Estos valores se encuentran tabulados en la tabla 16.

Tabla 1-16. Desplazamiento permitido en sistema tensor según el tipo de correa.

Distancia entre poleas [ft]	Desplazamiento del sistema tensor [ft]		
	Múltiples capas	Pocas capas	Cables de acero
≤ 50	1,5	1,5	-
100	3	3	-
200	5 - 6	6,00	-
300	7 - 8	8	-
500	10 - 14	14	-
700	13 - 18	18	-
1000	18 - 25	25	7
1500	25 - 34	34	8
2000	30 - 40	40	10
2500	35 - 47	47	12
3000	39 - 54	54	15
3500	42 - 59	59	17
4000	45 - 64	64	20
4500	48 - 70	70	22
5000	50 - 75	75	25

1.4.6 Método gráfico para la determinación de la potencia.

A continuación se presentaran una serie de gráficos que permiten estimar la potencia necesaria para correas transportadoras cuya capacidad sea moderada y tengan caminos relativamente lineales.

Cabe mencionar que este método no es adecuado para correas que tengan secciones declinadas, que sean de alta capacidad o que posean complejos arreglos de terminales.

La figura 44 muestra un gráfico con el cual se puede determinar la potencia necesaria para mover la cinta transportadora vacía de manera horizontal. Además cuenta con una tabla incorporada (tabla 14), la cual entrega valores representativos de los pesos promedios de la correa y partes rotativas del bastidor. En el caso de tener los pesos reales, se deben utilizar esos.

Para encontrar la potencia para mover la cinta vacía, se debe utilizar como datos de entrada la distancia entre centros de las poleas de cola y cabeza de la cinta (largo de la correa) [ft] y el peso de la cinta y partes rotatorias tabulados en la tabla 16[lbs]. El valor de potencia obtenido debe ser corregido multiplicándolo por la velocidad de la correa y dividiéndolo en 100.

Tabla 1-17. Tabla de la figura 44: peso por longitud lineal de cinta y partes rotativas.

Peso por ft de cinta y partes rotativas del bastidor [lbs]				
Ancho de la correa [pulg]	Densidad del material transportado [lbs/ft ³]			
	50	100	150	200
18	12	14	17	17
24	16	19	23	23
30	20	24	29	29
36	28	35	41	48
42	34	42	49	59
48	41	51	69	77
54	48	58	78	89
60	60	70	87	99
72	74	83	113	130
84	102	127	149	165
96	117	143	181	181

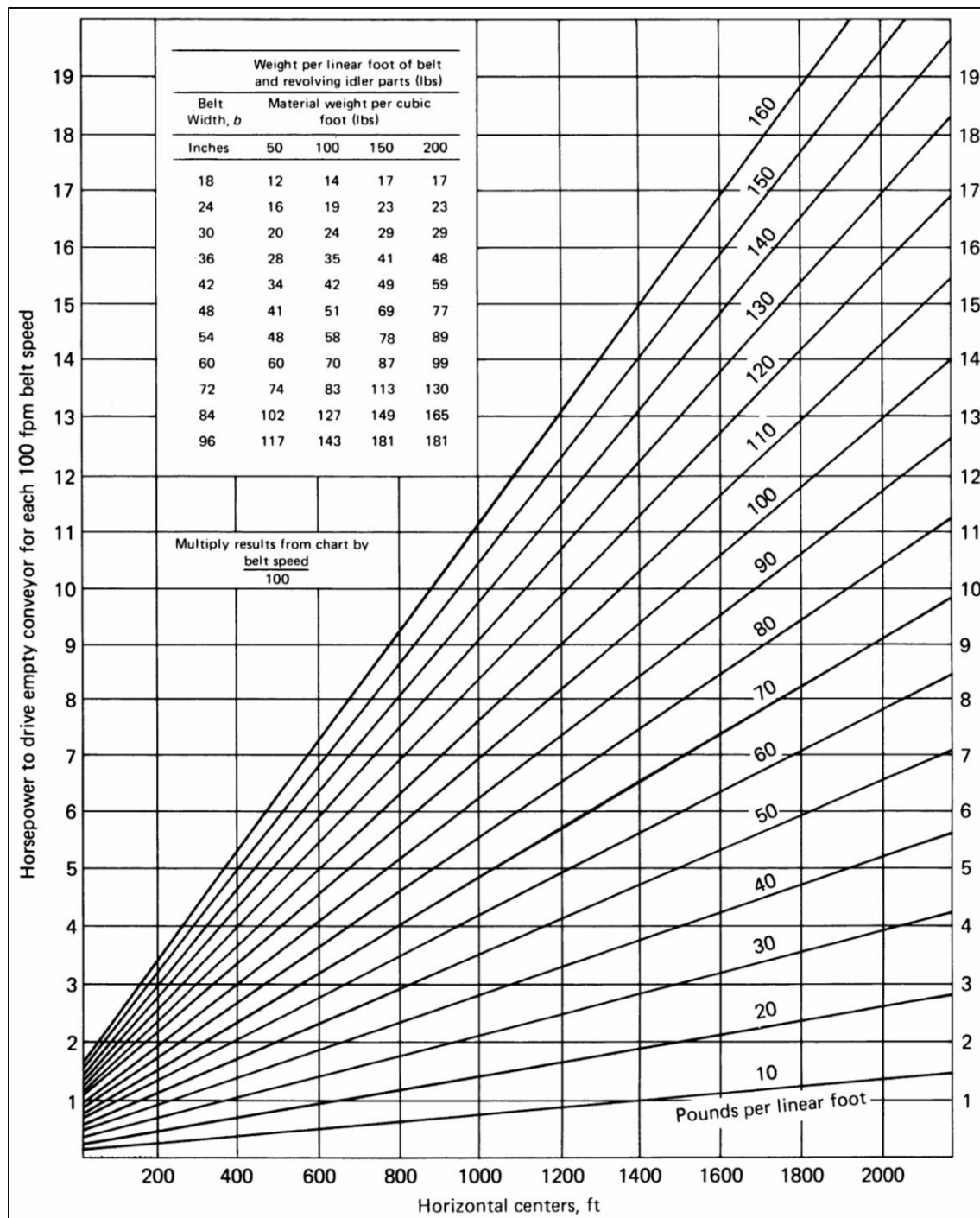


Figura 1-45. Potencia requerida para mover la cinta horizontalmente. [13]

La figura 45 muestra un gráfico para determinar la potencia necesaria para elevar el material en correas inclinadas.

Para ingresar al gráfico, se debe utilizar la capacidad de transporte de material de la correa [tph]. Luego el valor de potencia obtenido, se debe multiplicar por la altura de la correa [ft].

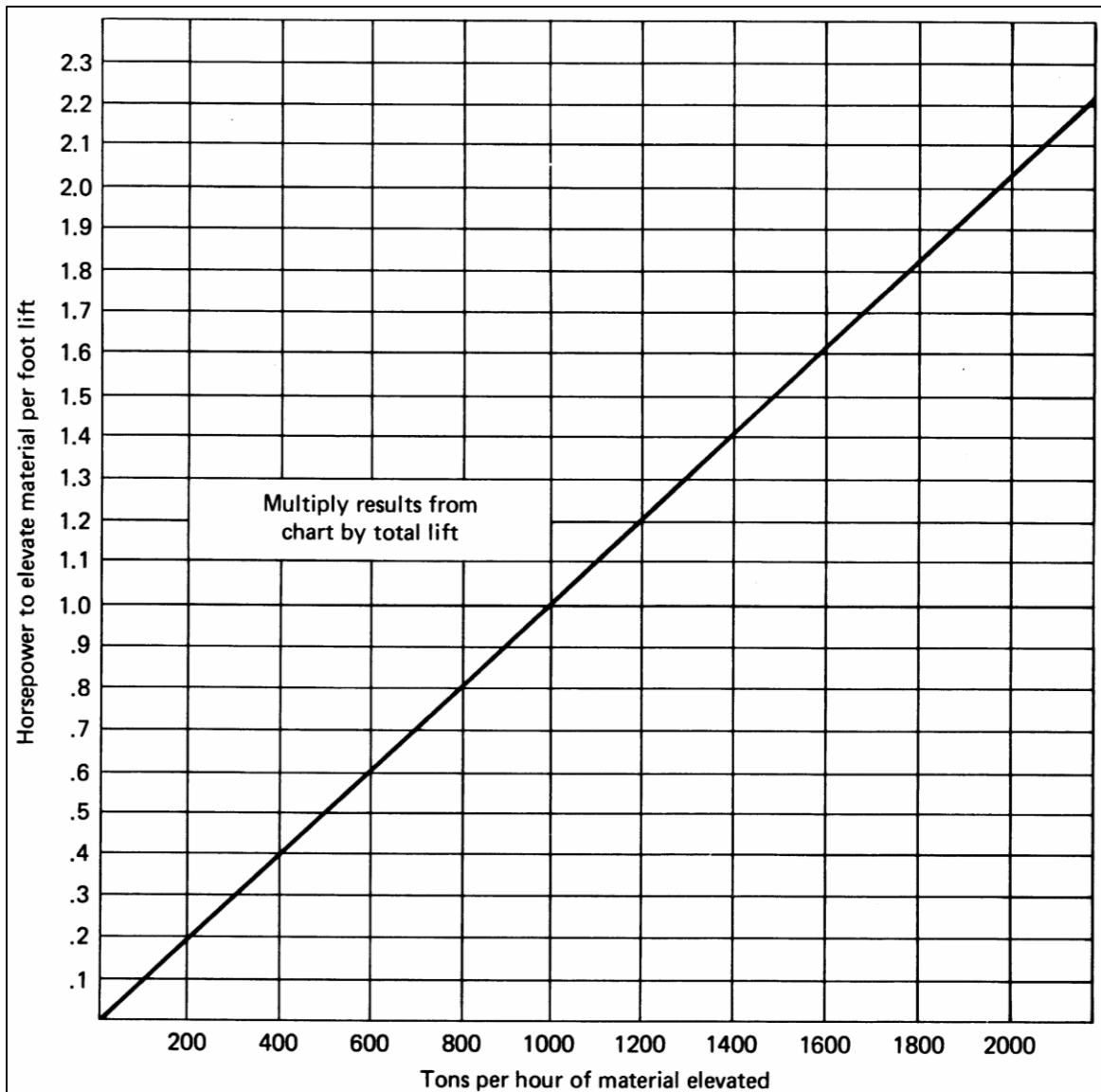


Figura 1-46. Potencia requerida para elevar el material. [13]

Finalmente para determinar la potencia necesaria para transportar el material de manera horizontal, se debe usar el gráfico de la figura 46.

Para ingresar a este gráfico, se debe usar como dato de entrada el largo de la cinta. El valor de potencia obtenido, se debe corregir multiplicándolo por la capacidad de transporte de material de la correa [tph] y dividiéndolo en 100.

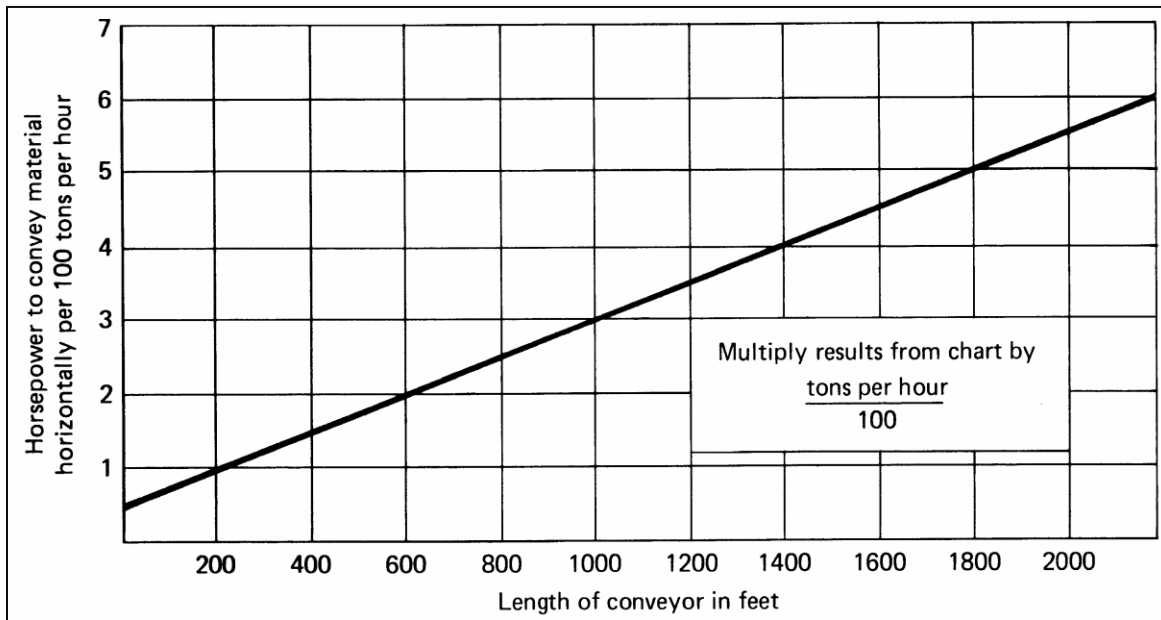


Figura 1-47. Potencia requerida para transportar horizontalmente el material. [13]

La potencia total requerida para la correa transportadora corresponde a la suma de las tres potencias obtenidas gráficamente. Este valor debe ser corregido con las pérdidas estándar de los componentes de accionamiento, la cual generalmente es de un 5%.

2. Diagnóstico inicial de la línea crítica

Se realizaron una serie de visitas a terreno, para poder describir la condición inicial en la que se encuentran los sistemas de tensado de las correas de la línea crítica: CV-110, CV-111, CV-112, CV-113 y CV-114.

A continuación se las observaciones principales de los sistemas tensores, junto con fotos justificativas.

2.1 Sistema tensor CV-110

- Cuenta con protecciones metálicas correctamente instaladas en el perímetro del contrapeso.
- Torre de contrapeso presenta contaminación leve debido al polvo.
- Torre de contrapeso no presenta problemas estructurales.
- Las planchas de acero utilizadas como contrapeso, presentan diferencia de espesores, además de visible estado de corrosión (figura 49).
- Carro tensor se encuentra con alto grado de contaminación por el polvo en suspensión característico de su ubicación, la nave de chancado secundario (figura 50).
- Carro tensor no presenta problemas estructurales.



Figura 2-1. Sistema de contrapeso CV-110



Figura 2-2. Planchas del contrapeso CV-110.



Figura 2-3. Carro tensor CV-110.

2.2 Sistema tensor CV-111

- Cuenta con protecciones metálicas correctamente instaladas en el perímetro del contrapeso.
- Torre de contrapeso presenta contaminación leve debido al polvo.
- Las vigas tubulares de la torre de contrapeso, en las que se desplaza la estructura móvil de contrapesos, presentan leve flexión. Esto provoca problemas en el movimiento de dicha estructura (figura 51).
- Presencia de abolladuras en la viga tubular derecha, lo que afecta el movimiento del contrapeso (figura 52).
- Las planchas de acero utilizadas como contrapeso, presentan diferencia de espesores, además de visible estado de corrosión (figura 53).
- Carro tensor se encuentra con alto grado de contaminación por el polvo en suspensión característico de su ubicación, la nave de chancado secundario (figura 54).
- Carro tensor no presenta problemas estructurales.

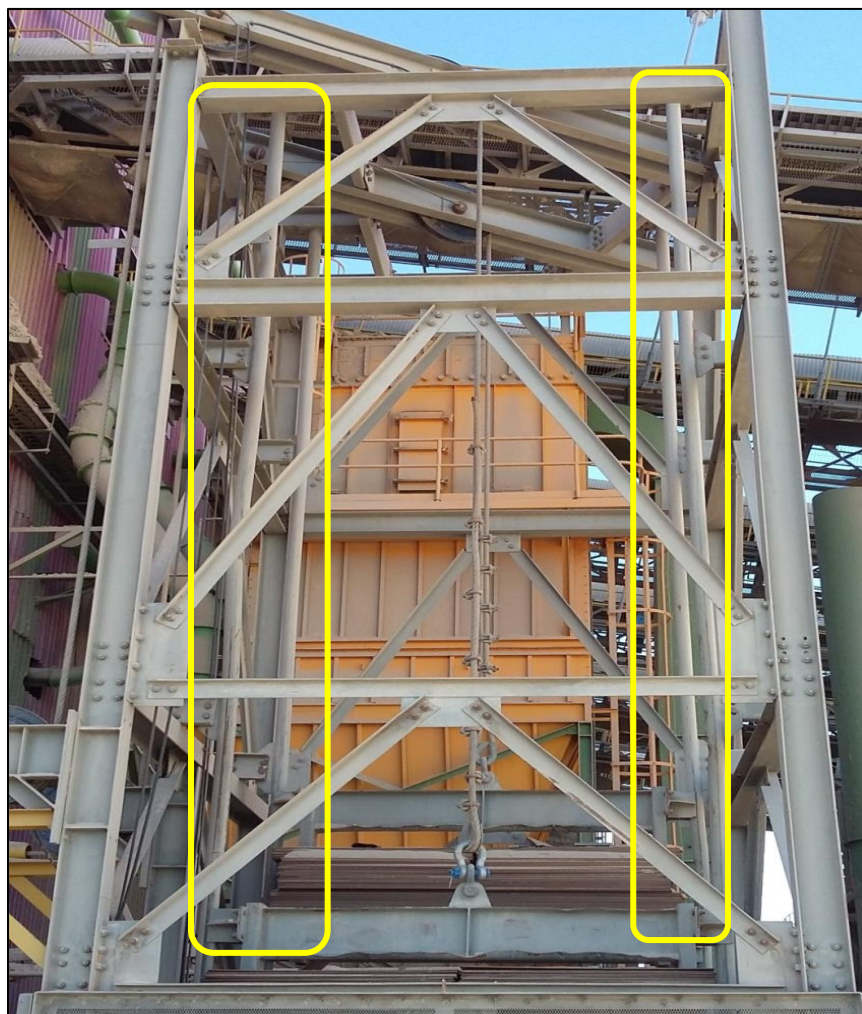


Figura 2-4. Sistema de contrapeso CV-111.



Figura 2-5. Abolladura viga tubular del contrapeso CV-111.



Figura 2-6. Planchas del contrapeso CV-111.



Figura 2-7. Carro tensor CV-111.

2.3 Sistema tensor CV-112

- Cuenta con protecciones metálicas correctamente instaladas en el perímetro del contrapeso.
- Torre de contrapeso presenta contaminación leve debido al polvo.
- Torre de contrapeso no presenta problemas estructurales.
- Las planchas de acero utilizadas como contrapeso, presentan diferencia de espesores, además de visible estado de corrosión (figura 56).
- Carro tensor se encuentra con leve grado de contaminación por polvo (figura 57).
- Carro tensor no presenta problemas estructurales.



Figura 2-8. Sistema de contrapeso CV-112.



Figura 2-9. Planchas del contrapeso CV-112.



Figura 2-10. Carro tensor CV-112.

2.4 Sistema tensor CV-113

- Las protecciones metálicas no se encuentran instaladas en su totalidad, encontrándose en el suelo, además presentan visible estado de corrosión (figura 59).
- Existe una apertura en rejilla metálica del lado derecho (figura 60).
- Torre de contrapeso presenta alto grado de contaminación, debido al polvo.
- Torre de contrapeso no presenta problemas estructurales.
- Las planchas de acero utilizadas como contrapeso, presentan diferencia de espesores, además de visible estado de corrosión (figura 61).
- Carro tensor se encuentra con alto grado de contaminación por polvo. Además presenta daños por ácido, debido a que se trata de una línea de curado de mineral (figura 62).
- Carro tensor presenta deformación, lo que afecta el desplazamiento de este (figura 63).
- Falta de condiciones de seguridad y limpieza general del área del sistema tensor.



Figura 2-11. Sistema de contrapeso CV-113.



Figura 2-12. Protección metálica del contrapeso CV-113.



Figura 2-13. Rejilla metálica lateral del contrapeso CV-113.

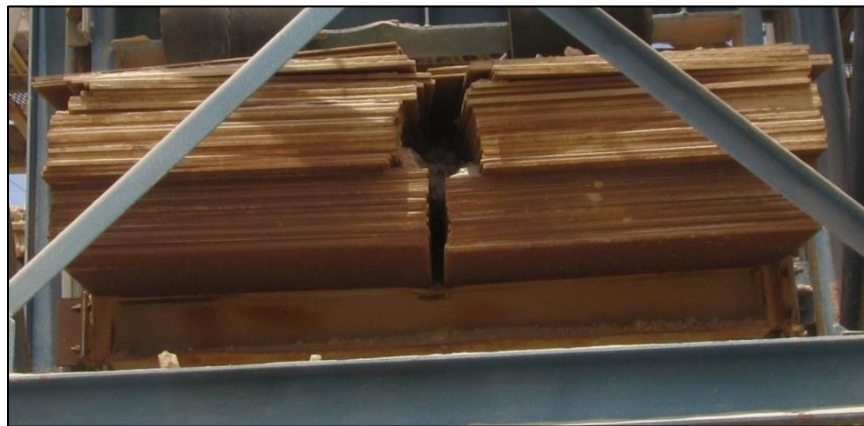


Figura 2-14. Planchas del contrapeso CV-113.



Figura 2-15. Carro tensor CV-113.



Figura 2-16. Deformación carro tensor CV-113.

2.5 Sistema tensor CV-114

- Las protecciones metálicas no se encuentran instaladas en su totalidad, encontrándose en el suelo, además presentan visible estado de corrosión (figura 64).
- Torre de contrapeso presenta leve grado de contaminación, debido al polvo.
- Torre de contrapeso no presenta problemas estructurales.
- Las planchas de acero utilizadas como contrapeso, presentan diferencia de espesores, además de visible estado de corrosión (figura 65).
- Carro tensor se encuentra con alto grado de contaminación por polvo. Además presenta daños por ácido, debido a que se trata de una línea de curado de mineral (figura 66).
- Carro tensor presenta desnivel, lo que afecta el desplazamiento de este (figura 66).



Figura 2-17. Sistema de contrapeso CV-114.



Figura 2-18. Planchas del contrapeso CV-114.



Figura 2-19. Carro tensor CV-114.

3. Identificación del problema

Los problemas se analizarán desde tres puntos de vista, con el fin de identificar hacia donde orientar la mejora y finalmente generar soluciones concretas. Estas perspectivas son:

- A. Diseño: En este punto se calcularán las tensiones y potencias requeridas por las correas transportadoras, variando algunos parámetros de operación, con el fin de contrarrestar estos valores con el sistema motriz y tensor que tienen actualmente instaladas las correas transportadoras y verificar su compatibilidad.
- B. Operación: Se hará un análisis del registro de detenciones de las correas transportadoras, identificando las principales causas y su relación con el sistema tensor instalado en las correas.
- C. Mantenimiento: Analizar la participación del sistema tensor en las mantenciones realizadas en las correas transportadoras y el plan de mantenimiento propio de los sistemas tensores, con el fin de encontrar puntos críticos o falencias.

3.1 Diseño

A continuación se presentan los valores de tensión y potencias obtenidas, mediante la utilización de las fórmulas de la base teórica de cálculos CEMA presentada en el capítulo 5.4 del presente documento.

3.1.1 Datos para el cálculo de los contrapesos

A continuación se presentan los datos necesarios para poder obtener el valor del peso de los contrapesos utilizados actualmente en el sistema tensor de las correas transportadoras de la línea crítica.

Datos técnicos de las planchas

- Material: Acero estructural.
- Densidad: 7.850 [kg/m³].

Las medidas de las planchas son:

- Largo: 1500 [mm].
- Ancho: 1.090 [mm].
- Espesor: 12 [mm].

En la figura 67, es posible apreciar de mejor forma las medidas de las planchas.

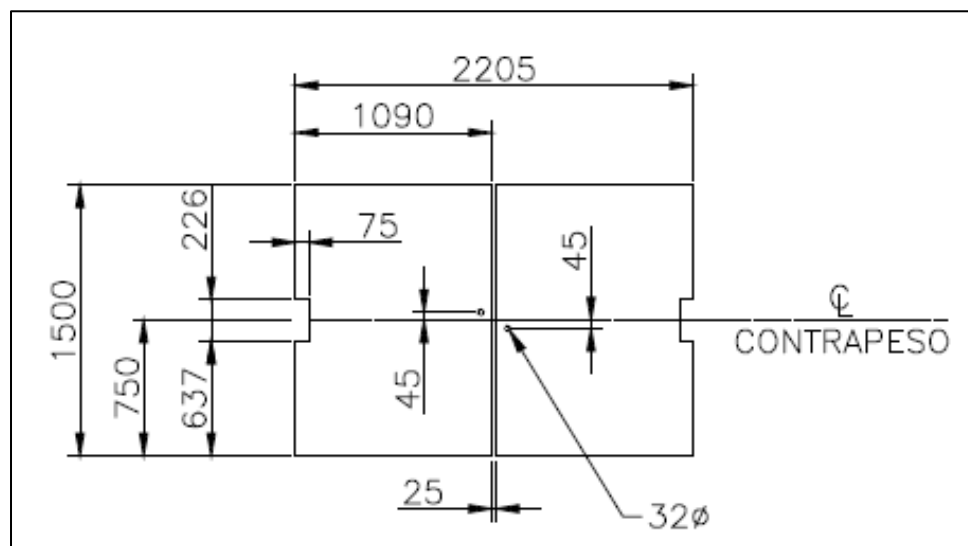


Figura 3-1. Plano de una plancha de contrapeso. [21]

Número de planchas

A continuación se indican la cantidad de planchas que poseen los contrapesos:

- CV-110: 41 planchas.
- CV-111: 45 planchas.
- CV-112: 35 planchas.
- CV-113: 40 planchas.
- CV-114: 43 planchas.

Cabe mencionar que en terreno las planchas tienen espesores distintos, lo que puede afectar la precisión de los cálculos. La cantidad de planchas indicadas anteriormente, se obtuvo considerando las medidas estándar, aminorando de esta forma el efecto de los diferentes tamaños de planchas.

3.1.2 Cálculo de contrapesos

En primer lugar es necesario determinar el volumen unitario de cada plancha, con lo que se puede determinar luego su masa.

$$V_{\text{plancha}} = 1500 * 1090 * 12 - 2 * 75 * 226 * 12 = 38.974.500 \text{ [mm}^3\text{]} = 0,039 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$m_{\text{plancha}} = \rho * V = 7850 * 0,039 = 306 \text{ [kg]}$$

Con estos datos, es posible determinar la masa total de cada contrapeso, multiplicando la masa de cada placa por la cantidad de placas.

$$m_{\text{contrapeso CV110}} = m_{\text{placa}} * N^{\circ} \text{ placas} = 306 * 41 = 12.544 \text{ [kg]} \sim 12,5 \text{ [ton]}$$

$$m_{\text{contrapeso CV111}} = 306 * 45 = 13.768 \text{ [kg]} \sim 13,8 \text{ [ton]}$$

$$m_{\text{contrapeso CV112}} = 306 * 35 = 10.708 \text{ [kg]} \sim 10,7 \text{ [ton]}$$

$$m_{\text{contrapeso CV113}} = 306 * 40 = 12.238 \text{ [kg]} \sim 12,2 \text{ [ton]}$$

$$m_{\text{contrapeso CV114}} = 306 * 43 = 13.156 \text{ [kg]} \sim 13,2 \text{ [ton]}$$

Luego el peso de cada contrapeso se obtiene multiplicando su masa por la aceleración de gravedad.

$$T_{\text{contrapeso CV110}} = m_{\text{contrapeso}} * g = 12.544 * 9,8 = 122.931 \text{ [N]} \sim 122,9 \text{ [kN]}$$

$$T_{\text{contrapeso CV111}} = 13.768 * 9,8 = 134.924 \text{ [N]} \sim 134,9 \text{ [kN]}$$

$$T_{\text{contrapeso CV112}} = 10.708 * 9,8 = 104.941 \text{ [N]} \sim 104,9 \text{ [kN]}$$

$$T_{\text{contrapeso CV113}} = 12.238 * 9,8 = 119.932 \text{ [N]} \sim 119,9 \text{ [kN]}$$

$$T_{\text{contrapeso CV114}} = 13.156 * 9,8 = 128.927 \text{ [N]} \sim 128,9 \text{ [kN]}$$

A los valores de tensión de los contrapesos, es necesario agregar el peso de la estructura que soporta las planchas, la cual tiene un valor de 13000 [N].

La tabla 18 resume los valores finales de cada sistema de contrapesos.

Tabla 3-1. Peso total de los contrapesos.

Correa	Peso conjunto placas [N]	Peso estructura soporte [N]	Peso total [N]
CV-110	102.066	13.000	115.066
CV-111	112.024	13.000	125.024
CV-112	87.130	13.000	100.130
CV-113	99.577	13.000	112.577
CV-114	107.045	13.000	120.045

3.1.3 Tablas de datos para el cálculo de tensiones y potencia

A continuación se presentan una serie de tablas que contienen los datos fijos utilizados para el cálculo de tensiones y potencias en las correas.

Tabla 3-2. Datos de operación CV-110.

Temperatura ambiente [°C]	25
Temperatura ambiente [°F]	77
Densidad material [lb/ft³]	100
Ancho de la correa [pulg]	72
Velocidad de la correa [m/s]	3,8
Velocidad de la correa [ft/min]	753,9
Velocidad material descargado [ft/min]	0
Tamaño rodillos [mm]	178
Tamaño rodillos [pulg]	7
Si [ft]	4
Largo de la correa [m]	163
Largo de la correa [ft]	534,8
Altura correa [m]	0
Altura correa [ft]	0
Largo de una guardera [ft]	3
Altura de contacto material con la guardera [pulg]	4
Ángulo de reposo del material [°]	35
Ángulo de abrace cinta/polea [°]	180
Tipo de poleas	Recubiertas
Tipo de tensor	De gravedad

Tabla 3-3. Datos de operación CV-111.

Temperatura ambiente [°C]	25
Temperatura ambiente [°F]	77
Densidad material [lb/ft ³]	100
Ancho de la correa [pulg]	72
Velocidad de la correa [m/s]	4,4
Velocidad de la correa [ft/min]	858,3
Velocidad material descargado [ft/min]	0
Tamaño rodillos [mm]	178
Tamaño rodillos [pulg]	7
Si [ft]	4
Largo de la correa [m]	169
Largo de la correa [ft]	554,5
Altura correa [m]	1
Altura correa [ft]	3,3
Largo de una guardera [ft]	3
Altura de contacto material con la guardera [pulg]	4
Ángulo de reposo del material [°]	35
Ángulo de abrace cinta/polea [°]	210
Tipo de poleas	Recubiertas
Tipo de tensor	De gravedad

Tabla 3-4. Datos de operación CV-112.

Temperatura ambiente [°C]	25
Temperatura ambiente [°F]	77
Densidad material [lb/ft ³]	120
Ancho de la correa [pulg]	84
Velocidad de la correa [m/s]	4,3
Velocidad de la correa [ft/min]	846,5
Velocidad material descargado [ft/min]	0
Tamaño rodillos [mm]	178
Tamaño rodillos [pulg]	7
Si [ft]	4
Largo de la correa [m]	118
Largo de la correa [ft]	387,1
Altura correa [m]	1
Altura correa [ft]	3,3
Largo de una guardera [ft]	3
Altura de contacto material con la guardera [pulg]	4

Ángulo de reposo del material [°]	35
Ángulo de abrace cinta/polea [°]	180
Tipo de poleas	Recubiertas
Tipo de tensor	De gravedad

Tabla 3-5. Datos de operación CV-113.

Temperatura ambiente [°C]	25
Temperatura ambiente [°F]	77
Densidad material [lb/ft ³]	120
Ancho de la correa [pulg]	84
Velocidad de la correa [m/s]	4,3
Velocidad de la correa [ft/min]	846,5
Velocidad material descargado [ft/min]	0
Tamaño rodillos [mm]	178
Tamaño rodillos [pulg]	7
Si [ft]	4
Largo de la correa [m]	55
Largo de la correa [ft]	180,4
Altura correa [m]	1,332
Altura correa [ft]	4,37
Largo de una guardera [ft]	3
Altura de contacto material con la guardera [pulg]	4
Ángulo de reposo del material [°]	35
Ángulo de abrace cinta/polea [°]	180
Tipo de poleas	Recubiertas
Tipo de tensor	De gravedad

Tabla 3-6. Datos de operación CV-114.

Temperatura ambiente [°C]	25
Temperatura ambiente [°F]	77
Densidad material [lb/ft ³]	120
Ancho de la correa [pulg]	84
Velocidad de la correa [m/s]	4,3
Velocidad de la correa [ft/min]	846,5
Velocidad material descargado [ft/min]	0

Tamaño rodillos [mm]	178
Tamaño rodillos [pulg]	7
Si [ft]	4
Largo de la correa [m]	56
Largo de la correa [ft]	183,7
Altura correa [m]	1,582
Altura correa [ft]	5,19
Largo de una guardera [ft]	3
Altura de contacto material con la guardera [pulg]	4
Ángulo de reposo del material [°]	35
Ángulo de abrace cinta/polea [°]	180
Tipo de poleas	Recubiertas
Tipo de tensor	De gravedad

3.1.4 Cálculo de tensiones y potencia

Utilizando las fórmulas y tablas del marco teórico de cálculos del Manual CEMA, se calcularon las tensiones y potencias de las correas transportadoras, variando el tonelaje de mineral que transportan y la flecha que se genera entre los polines de carga. A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada correa en cada caso analizado.

Constantes, peso del material y de la cinta

En esta sección se muestran las tablas que contienen datos que fueron extraídos de gráficos y tablas, del marco teórico de cálculos.

Tabla 3-7. Constantes del cálculo.

Correa	Kt [-]	Kx [lbs/ft]	Ky [-]	Ai [-]	Cw [-]
CV-110	1	0,8	0,035	2,4	0,5
CV-111	1	0,8	0,035	2,4	0,5
CV-112	1	0,9	0,035	2,4	0,5
CV-113	1	0,9	0,035	2,4	0,5
CV-114	1	0,9	0,035	2,4	0,5

Tabla 3-8. Peso del material y la cinta.

Correa	Wb [lbs/ft]	Wm[lbs/ft]	Wb+Wm [lbs/ft]
CV-110	24	291,8	315,8
CV-111	24	323,5	347,5
CV-112	30	413,4	443,4
CV-113	30	413,4	443,4
CV-114	30	413,4	443,4

Una vez que se obtienen todos los datos y constantes de esta sección, se procede a calcular las tensiones en la correa, variando el tonelaje de mineral y la flecha de la correa entre los polines de carga.

Tensiones independientes del tonelaje de mineral y la flecha de la correa

Las tablas de esta sección, contienen los valores de tensión que no se ven afectados con la variación del tonelaje de mineral ni la flecha de la correa, y que forman parte de la tensión efectiva.

Tabla 3-9. Tensión por roce en las poleas.

Correa	N° poleas lado tenso	N° poleas lado flojo	N° otras poleas	Tp [lbs]
CV-110	0	1	0	150
CV-111	1	2	2	700
CV-112	0	1	0	150
CV-113	0	1	0	150
CV-114	0	1	0	150

Tabla 3-10. Tensión por el uso de raspadores en la correa.

Correa	N° raspadores en "V"	N° raspadores diagonales o rectos	Tbc [lbs]
CV-110	1	2	792
CV-111	1	2	792
CV-112	1	2	924
CV-113	0	3	756
CV-114	0	3	756

Tabla 3-11. Tensión por el roce del mineral con las guarderas y total por accesorios.

Correa	N° guarderas	Tsb [lbs]	Tac [lbs]
CV-110	110	6.481,8	7.273,8
CV-111	110	6.481,8	7.273,8
CV-112	20	1.178,5	2.102,5
CV-113	8	471,4	1.227,4
CV-114	8	471,4	1.227,4

Tensiones componentes de la tensión efectiva

A continuación se presentan los valores de las tensiones que conforman la tensión efectiva de la correa, y que se ven afectados por el tonelaje de mineral que transporte la correa.

Tabla 3- 12. Tensiones componentes de la tensión efectiva a 10.500 tph.

Correa	Tx [lbs]	Tyc [lbs]	Tyr [lbs]	Tyb [lbs]	Tym [lbs]	Tm [lbs]
CV-110 60%	430,9	449,2	192,5	641,7	5.212,9	0
CV-111 40%	403,2	465,7	199,6	665,3	3.165,2	535,1
CV-110 40%	397,1	449,2	192,5	641,7	3.475,2	0
CV-111 60%	434	465,7	199,6	665,3	4.747,8	802,7
CV-112 100%	349	406,5	174,2	580,7	5.602,1	1.356,4
CV-113 100%	162,7	189,5	81,2	270,7	2.611,1	1.806,8
CV-114 100%	165,6	192,9	82,7	275,6	2.658,6	2.145,9

Nota: El porcentaje que aparece al costado del nombre de la correa, representa la proporción del tonelaje de mineral que circula a través de dicha correa.

Tabla 3-13. Tensiones componentes de la tensión efectiva a 9.500 tph.

Correa	Tx [lbs]	Tyc [lbs]	Tyr [lbs]	Tyb [lbs]	Tym [lbs]	Tm [lbs]
CV-110 60%	421,2	449,2	192,5	641,7	4.716,4	0
CV-111 40%	397,4	465,7	199,6	665,3	2.863,7	484,1
CV-110 40%	390,7	449,2	192,5	641,7	3.144,3	0
CV-111 60%	425,2	465,7	199,6	665,3	4.295,6	726,2
CV-112 100%	338,7	406,5	174,2	580,7	5.068,6	1.227,3
CV-113 100%	157,8	189,5	81,2	270,7	2.362,5	1.634,7
CV-114 100%	160,7	192,9	82,7	275,6	2.405,4	1.941,5

Tabla 3-14. Tensión por la zona de traspaso de mineral a 10.500 tph.

Correa	Tensión por cinta a 1000 tph [lbs]	Tensión por material a 1000 tph [lbs]	Diferencia de tensión [lbs]	Tam [lbs]
CV-110 60%	218	0	218	1.373,4
CV-111 40%	245	0	245	1.029
CV-110 40%	218	0	218	915,6
CV-111 60%	245	0	245	1.544
CV-112 100%	240	0	240	2.520
CV-113 100%	240	0	240	2.520
CV-114 100%	240	0	240	2.520

Tabla 3-15. Tensión por la zona de traspaso de mineral a 9.500 tph.

Correa	Tensión por cinta a 1000 tph [lbs]	Tensión por material a 1000 tph [lbs]	Diferencia de tensión [lbs]	Tam [lbs]
CV-110 60%	218	0	218	1.242,6
CV-111 40%	245	0	245	931
CV-110 40%	218	0	218	828,4
CV-111 60%	245	0	245	1397
CV-112 100%	240	0	240	2.280
CV-113 100%	240	0	240	2.280
CV-114 100%	240	0	240	2.280

Tensión y potencia efectiva

Una vez que se tienen los valores de las tensiones de las secciones anteriores, se agrupan y para obtener el valor de la tensión efectiva en cada correa, para cada caso. De manera análoga, se calcula la potencia efectiva requerida para accionar la cinta, la cual considera una eficiencia del sistema motriz de un 90%.

Tabla 3-16. Tensiones y potencias efectivas en las correas transportadoras a 10.500 tph.

Correa	Te [lbs]	Te [N]	Pe [HP]	Pe [kW]
CV-110 60%	14.167,2	63.019	359,7	268,2
CV-111 40%	12.856,4	57.188	371,6	277,1
CV-110 40%	11.938,3	53.104	303	225,9
CV-111 60%	15.251,7	67.843	440,8	328,7
CV-112 100%	12.696,8	56.478	361,9	269,9
CV-113 100%	8.682,1	38.620	247,4	184,5
CV-114 100%	9.076,7	40.375	258,7	192,9

Tabla 3-17. Tensiones y potencias efectivas en las correas transportadoras a 9.500 tph.

Correa	Te [lbs]	Te [N]	Pe [HP]	Pe [kW]
CV-110 60%	13.530,4	60.186	343,4	256,1
CV-111 40%	12.400,0	55.158	358,3	267,2
CV-110 40%	11.513,6	51.215	292,2	217,9
CV-111 60%	14.567,4	64.799	421,0	313,9
CV-112 100%	11.783,6	52.416	335,9	250,5
CV-113 100%	8.016,5	35.659	228,4	170,4
CV-114 100%	8.374,1	37.250	238,7	178

Tensión en la polea motriz, limitadora de flecha y del sistema tensor

Con el valor de las tensiones efectivas calculadas en la sección anterior, se procede a calcular las tensiones que se generan en la correa, en la zona de la polea motriz. También se calculan los valores de la tensión mínima que se requiere para evitar un exceso de flecha en la correa entre polines y la tensión que debe ejercer el sistema tensor.

Los valores que se presentan a continuación, dependen tanto del tonelaje de mineral que circula por la cinta transportadora, como de la flecha que se genera en esta.

Tabla 3-18. Tensión del lado tenso y flojo de las correas a 10.500 tph y flecha 1%.

Correa	T1 [lbs]	T1 [N]	T2 [lbs]	T2 [N]
CV-110 60%	29.100,4	129.445	14.932,9	66.425
CV-111 40%	22.090,6	98.264	9.234,3	41.076
CV-110 40%	22.229,3	98.881	10.291,1	45.777
CV-111 60%	28.563,6	127.057	13.311,8	59.214
CV-112 100%	33.352,5	148.359,3	21.998,2	97.852,8
CV-113 100%	31.021	137.988,1	22.222,3	98.849,7
CV-114 100%	31.438,6	139.845,6	22.245,4	98.952,5

Tabla 3-19. Tensión del lado tenso y flojo de las correas a 10.500 tph y flecha 2%.

Correa	T1 [lbs]	T1 [N]	T2 [lbs]	T2 [N]
CV-110 60%	21.537,6	95.804	7.370,1	32.784
CV-111 40%	17.741,7	78.919	4.885,3	21.731
CV-110 40%	17.907,2	79.655	5.969,1	26.552
CV-111 60%	21.847,2	97.181	6.595,4	29.338
CV-112 100%	23.707,2	105.455	11.010,5	48.977
CV-113 100%	19.818,3	88.156	11.136,1	49.536
CV-114 100%	20.235,7	90.013	11.159,3	49.639

Tabla 3-20. Tensión del lado tenso y flojo de las correas a 9.500 tph y flecha 1%.

Correa	T1 [lbs]	T1 [N]	T2 [lbs]	T2 [N]
CV-110 60%	27.137,1	120.712	13.606,8	60.526
CV-111 40%	20.857,6	92.779	8.457,5	37.621
CV-110 40%	20.920,5	93.059	9.406,9	41.844
CV-111 60%	26.714,1	118.830	12.146,9	54.032
CV-112 100%	31.911,4	141.949	20.127,8	89.533
CV-113 100%	28.270	125.751	20.253,5	90.092
CV-114 100%	28.650,8	127.445	20.276,6	90.195

Tabla 3-21. Tensión del lado tenso y flojo de las correas a 9.500 tph y flecha 2%

Correa	T1 [lbs]	T1 [N]	T2 [lbs]	T2 [N]
CV-110 60%	20.295,5	90.279	6.765,2	30.093
CV-111 40%	17.112	76.118	4.712	20.960
CV-110 40%	17.270,3	76.822	5.756,7	25.607
CV-111 60%	20.580,4	91.546	6.013	26.747
CV-112 100%	21.809,6	97.014	10.026	44.598
CV-113 100%	18.168,2	80.816	10.151,7	45.157
CV-114 100%	18.549	82.510	10.174,9	45.260

Tabla 3-22. Tensión limitadora de flecha y del contrapeso de las correas a 10.500tph y flecha 1%.

Correa	Tt [lbs]	Tt [N]	Tg [lbs]	Tg [N]
CV-110 60%	15.125,6	67.282	31.956,6	142.150
CV-111 40%	9.355,2	41.614	19.761,4	87.903
CV-110 40%	10.483,7	46.634	22.023,2	97.964
CV-111 60%	13.432,8	59.752	28.487,3	126.718
CV-112 100%	22.172,4	98.627,7	47.076,1	209.404,9
CV-113 100%	22.172,4	98.627,7	47.555,7	211.538,3
CV-114 100%	22.172,4	98.627,7	47.605,2	211.758,4

Tabla 3-23. Tensión limitadora de flecha y del contrapeso de las correas a 10.500tph y flecha 2%.

Correa	Tt [lbs]	Tt [N]	Tg [lbs]	Tg [N]
CV-110 60%	7.562,8	33.641	15.772,4	70.159
CV-111 40%	5.006,3	22.269	10.454,7	46.505
CV-110 40%	6.161,6	27.408	12.773,9	56.821
CV-111 60%	6.716,4	29.876	14.114,4	62.784
CV-112 100%	11.086,2	49.314	23.121,8	102.851
CV-113 100%	11.086,2	49.314	23.385,8	104.025
CV-114 100%	11.086,2	49.314	23.434,3	104.241

Tabla 3-24. Tensión limitadora de flecha y del contrapeso de las correas a 9.500tph y flecha 1%.

Correa	Tt [lbs]	Tt [N]	Tg [lbs]	Tg [N]
CV-110 60%	13.799,2	61.382	29.118,4	129.525
CV-111 40%	8.578,5	38.159	18,099,4	80.510
CV-110 40%	9.599,6	42.701	20,131	89.547
CV-111 60%	12.267,8	54.570	25,994,2	115.628
CV-112 100%	20.203,6	89.870	42,268,4	188.019
CV-113 100%	20.203,6	89.870	42,532,3	189.193
CV-114 100%	20.203,6	89.870	42,580,9	189.409

Tabla 3-25. Tensión limitadora de flecha y del contrapeso de las correas a 9.500tph y flecha 2%.

Correa	Tt [lbs]	Tt [N]	Tg [lbs]	Tg [N]
CV-110 60%	6.957,8	30.950	14.477,5	64.399
CV-111 40%	4.832,9	21.498	10.083,8	44.855
CV-110 40%	5.949,3	26.464	12.319,5	54.800
CV-111 60%	6.133,9	27.285	12.867,8	57.239
CV-112 100%	10.101,8	44.935	21.054,7	93.656
CV-113 100%	10.101,8	44.935	21.318,6	94.830
CV-114 100%	10.101,8	44.935	21.367,2	95.046

Análisis de resultados

En base a los resultados obtenidos, se realizarán tres análisis críticos, para determinar la situación actual en que se encuentran los sistemas de correas transportadoras, y poder entregar un veredicto final desde el punto de vista del diseño de estas.

Tensión de diseño de la correa y factor de seguridad

La tensión nominal de diseño de la correa se encuentra en la nomenclatura del tipo de cinta utilizada, la cual indica la tensión que soporta por longitud de ancho de la cinta. En la tabla 43, se especifica este valor para cada correa transportadora.

Tabla 3-26. Tensión de diseño de las correas transportadoras.

Correa	Tipo de cinta	Tensión nominal de la cinta[N/mm]
CV-110	EP 800/5	800
CV-111	EP 800/5	800
CV-112	EP 1600/4	1.600
CV-113	EP 1600/4	1.600
CV-114	EP 1600/4	1.600

Para obtener el factor de seguridad, en primer lugar se debe calcular la tensión del lado tenso que exista por longitud de ancho de la cinta, mediante la división de T1 en el valor del ancho de la cinta en milímetros.

$$T1 \text{ específica} = \frac{T1}{\text{ancho de cinta}}$$

Una vez obtenido el valor mencionado anteriormente, se debe dividir el valor de la tensión de diseño de la cinta en el valor calculado anteriormente, con lo cual se obtiene el valor del factor de seguridad.

$$\text{Factor de seguridad} = \frac{\text{Tensión nominal de la cinta}}{T1 \text{ específica}}$$

Tabla 3-27. Tensión T1 específica y factor de seguridad a 10.500 tph y flecha 1%.

Correa	T1 específica [N/mm]	Factor de seguridad [-]
CV-110 60%	70,8	11
CV-111 40%	53,7	15
CV-110 40%	54,1	15
CV-111 60%	69,5	12
CV-112 100%	69,5	23
CV-113 100%	64,7	25
CV-114 100%	65,5	24

Tabla 3-28. Tensión T1 específica y factor de seguridad a 10.500 tph y flecha 2%.

Correa	T1 específica [N/mm]	Factor de seguridad [-]
CV-110 60%	52,4	15
CV-111 40%	43,2	19
CV-110 40%	43,6	18
CV-111 60%	53,1	15
CV-112 100%	49,4	32
CV-113 100%	41,3	39
CV-114 100%	42,2	38

Tabla 3-29. Tensión T1 específica y factor de seguridad a 9.500 tph y flecha 1%.

Correa	T1 específica [N/mm]	Factor de seguridad [-]
CV-110 60%	66,0	12
CV-111 40%	50,7	16
CV-110 40%	50,9	16
CV-111 60%	65,0	12
CV-112 100%	66,5	24
CV-113 100%	58,9	27
CV-114 100%	59,7	27

Tabla 3-30. Tensión T1 específica y factor de seguridad a 9.500 tph y flecha 2%.

Correa	T1 específica [N/mm]	Factor de seguridad [-]
CV-110 60%	49,4	16
CV-111 40%	41,6	19
CV-110 40%	42,0	19
CV-111 60%	50,1	16
CV-112 100%	45,5	35
CV-113 100%	37,9	42
CV-114 100%	38,7	41

El estándar de Codelco respecto a sus correas transportadoras, solicita que el factor de seguridad mínimo que deben tener es de **10**, lo que debiera asegurar que la cinta no se dañe y no falle por sobre tensión y otras fallas asociadas.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, para todos los casos analizados, las cinco correas analizadas se encuentran dentro del límite condenatorio de factor de seguridad, por lo que no debieran presentar fallas, según los cálculos y resultados expuestos.

Comparación entre la potencia del motor y la potencia efectiva

La potencia nominal del motor, se ve afectada por un factor de corrección por la altura a la que se encuentre sobre el nivel del mar, denominado *Factor de Derrateo*. Este factor provoca una disminución en la potencia que entrega el motor, debido a la disminución de la presión atmosférica por la disminución del peso de la columna de aire, lo que produce dos efectos: la disminución de la tensión de ruptura de los aislantes gaseosos, por efecto de la Ley de Parchen y la disminución de la densidad del aire. [23]

El factor de derrateo para los motores de las correas transportadoras analizadas, es de un **9%**, correspondiente al valor para una altura de 3.000 metros sobre el nivel del mar.

Los valores de las potencias de los motores, su valor corregido (P motor') y la comparación con el valor de la potencia efectiva, se presentan tabulados a continuación.

Tabla 3- 31. Potencia del motor y comparación con potencia efectiva a 10.500 tph.

Correa	P motor [HP]	P motor'[HP]	Pe [HP]	Pe/P motor'
CV-110 60%	350	318,5	359,7	112,9%
CV-111 40%	500	455	371,6	81,7%
CV-110 40%	350	318,5	303	95,1%
CV-111 60%	500	455	440,8	96,9%
CV-112 100%	350	318,5	361,9	113,6%
CV-113 100%	350	318,5	247,4	77,7%
CV-114 100%	350	318,5	258,7	81,2%

Tabla 3- 32. Potencia del motor y comparación con potencia efectiva a 9.500 tph.

Correa	P motor [HP]	P motor' [HP]	Pe [HP]	Pe/P motor'
CV-110 60%	350	318,5	343,4	107,8%
CV-111 40%	500	455	358,3	78,8%
CV-110 40%	350	318,5	292,2	91,7%
CV-111 60%	500	455	421	92,5%
CV-112 100%	350	318,5	335,9	105,5%
CV-113 100%	350	318,5	228,4	71,7%
CV-114 100%	350	318,5	238,7	74,9%

La columna final de cada tabla indica la relación porcentual que existe entre la potencia efectiva calculada y la potencia que entrega el motor instalado actualmente en cada correa. Este valor deber ser menor igual a cien, ya que eso significa que la potencia que requiere la cinta para moverse, es menor que la potencia que entrega el motor, asegurando que este sea capaz de accionar las correas transportadoras.

Es posible apreciar que tanto con un tonelaje de mineral transportado de 10.500 tph, como de 9.500 tph, pasando un 60% de este mineral por la correa CV-110 y un 100% por la CV-112, ambos motores trabajan sobrecargados, ya que la potencia que entregan es menor a la que requieren ambas cintas para su accionamiento. Esto puede provocar daños en el motor y los demás componentes del sistema motriz.

Comparación entre el peso del contrapeso y la tensión del sistema tensor

Se determinó de manera teórica el valor de la tensión que debiera ejercer el sistema tensor de la correa, el cual se contrastará con el valor calculado del peso de los sistemas de contrapeso instalados actualmente.

Las tablas que se presentan a continuación, contienen los valores obtenidos de la comparación.

Tabla 3- 33. Comparación de tensión del sistema tensor y peso del contrapeso 10.500 tph y flecha 1%.

Correa	Tg [N]	Peso del contrapeso [N]	Tg/Peso del contrapeso
CV-110 60%	142.150	115.066	123,54%
CV-111 40%	87.903	125.024	70,31%
CV-110 40%	97.964	115.066	85,1%
CV-111 60%	126.718	125.024	101,4%
CV-112 100%	209.404,9	100.130	209,1%
CV-113 100%	211.538,3	112.577	187,9%
CV-114 100%	211.758,4	120.045	176,4%

Tabla 3- 34. Comparación de tensión del sistema tensor y peso del contrapeso 10.500 tph y flecha 2%.

Correa	Tg [N]	Peso del contrapeso [N]	Tg/Peso del contrapeso
CV-110 60%	70.159	115.066	61,0%
CV-111 40%	46.505	125.024	37,2%
CV-110 40%	56.821	115.066	49,4%
CV-111 60%	62.784	125.024	50,2%
CV-112 100%	102.851	100.130	102,7%
CV-113 100%	104.025	112.577	92,4%
CV-114 100%	104.241	120.045	86,8%

Tabla 3- 35. Comparación de tensión del sistema tensor y peso del contrapeso 9.500 tph y flecha 1%.

Correa	Tg [N]	Peso del contrapeso [N]	Tg/Peso del contrapeso
CV-110 60%	129.525	115.066	112,6%
CV-111 40%	80.510	125.024	64,4%
CV-110 40%	89.547	115.066	77,8%
CV-111 60%	115.628	125.024	92,5%
CV-112 100%	188.019	100.130	187,8%
CV-113 100%	189.193	112.577	168,1%
CV-114 100%	189.409	120.045	157,8%

Tabla 3- 36. Comparación de tensión del sistema tensor y peso del contrapeso 9.500 tph y flecha 2%.

Correa	Tg [N]	Peso del contrapeso [N]	Tg/Peso del contrapeso
CV-110 60%	64.399	115.066	56,0%
CV-111 40%	44.855	125.024	35,9%
CV-110 40%	54.800	115.066	47,6%
CV-111 60%	57.239	125.024	45,8%
CV-112 100%	93.656	100.130	93,5%
CV-113 100%	94.830	112.577	84,2%
CV-114 100%	95.046	120.045	79,2%

La relación entre la tensión del sistema tensor y el peso del contrapeso instalado actualmente en las correas, debe ser menor igual a 100%, ya que esto indica que el contrapeso instalado es capaz de suplir la tensión que se requiere. El caso contrario, cuando es mayor a 100%, indica que el contrapeso ejerce una tensión menor a la requerida, por lo que pueden ocurrir fallas por baja tensión en la correa, como el deslizamiento entre la polea motriz y la cinta. Cabe mencionar que esta condición no se presenta en los casos que se encuentren hasta un 5% bajo la tensión requerida, ya que la carrera del sistema tensor aminora el efecto.

A continuación se mencionan los casos en que el peso del contrapeso es menor al requerido:

- CV-110 con 60% de 10.500 tph y flecha 1%.
- CV-112 con 10.500 tph y flecha 1%.
- CV-113 con 10.500 tph y flecha 1%.
- CV-114 con 10.500 tph y flecha 1%.
- CV-110 con 60% de 9.500 tph y flecha 1%.
- CV-112 con 9.500 tph y flecha 1%.
- CV-113 con 9.500 tph y flecha 1%.
- CV-114 con 9.500 tph y flecha 1%.

Para estos casos, la recomendación es aumentar el número de placas del contrapeso, con el fin de igualar el valor de su peso con el de la tensión requerida.

3.2 Operación

Los análisis presentados a continuación, están basados en el registro de detenciones de las correas analizadas, desde enero de 2015 a abril del 2016. El propósito de esta sección, es determinar las fallas críticas que han sufrido las correas, siendo el tiempo de detención el parámetro determinante.

3.2.1 Análisis de Pareto

A continuación se presentan las tablas de datos de detenciones de las correas, junto con los gráficos de Pareto asociados a estos. A través de esta herramienta, será posible diferenciar entre las causas de detención críticas y aquellas que puedan considerarse triviales.

Tabla 3-37. Detenciones registradas CV-110.

Causa	Duración [h]	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
Limpieza cinta	4,71	29,96%	29,96%
Desalineamiento cinta	4,32	27,50%	57,46%
Cambio de guardera	2,19	13,95%	71,41%
Cambio de polín	2,03	12,95%	84,36%
Activación Sensor Velocidad Cero	0,89	5,69%	90,05%
Tapado de correa	0,55	3,47%	93,52%
Cortocircuito	0,37	2,34%	95,86%
Falla rodamiento	0,26	1,63%	97,48%
Falla Pull Cord	0,22	1,42%	98,90%
Activación Pull Cord	0,09	0,56%	99,46%
Derrame de carga	0,04	0,28%	99,74%
Inspección cinta	0,03	0,16%	99,91%
Falla motor	0,01	0,09%	100%

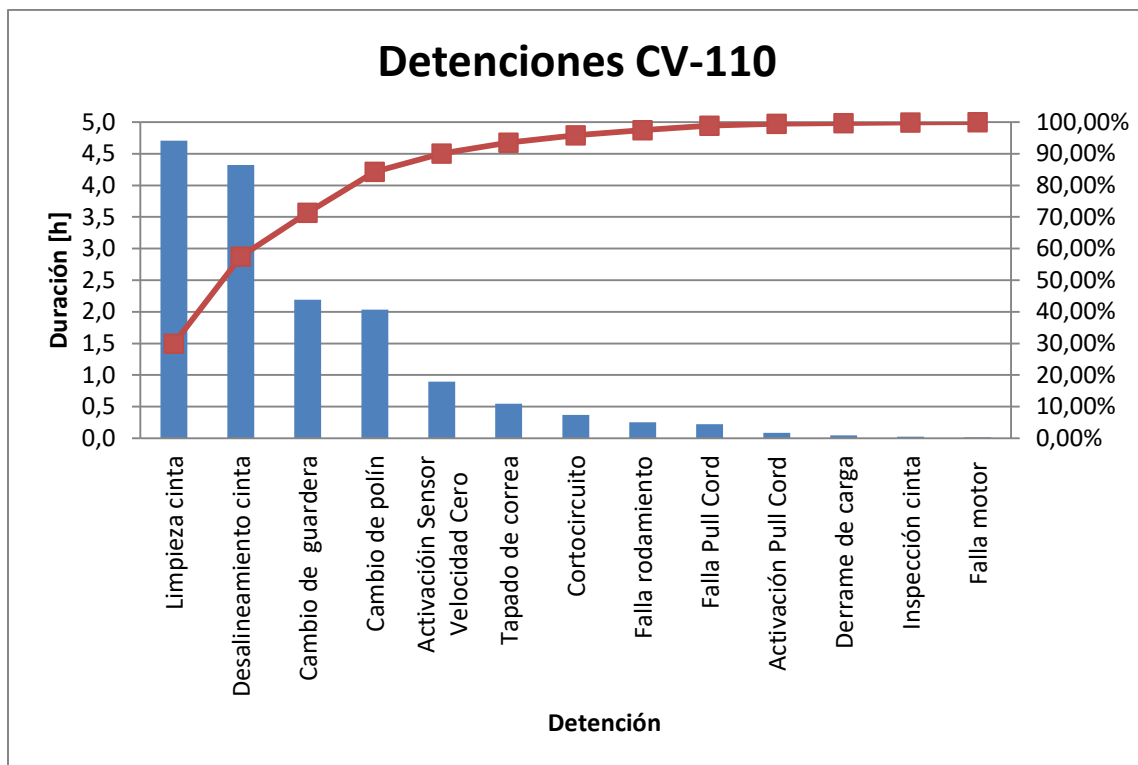


Figura 3-2. Diagrama de Pareto de detenciones CV-110.

Las detenciones de la correa CV-110, se deben principalmente a tres razones: el tiempo utilizado para limpiar la correa del material que se encuentre adherido a esta, el desalineamiento de la cinta y el cambio de guarderas.

La limpieza de la cinta y el desalineamiento de esta misma, tienen relación directa entre sí, ya que uno de los motivos del desalineamiento, es la acumulación de mineral en algunas zonas de la cinta.

Por otro lado, el cambio de guarderas, es una actividad de mantenimiento programada, en la que se reemplazan aquellas que se encuentren en condiciones de desgaste excesivo y las que se hayan caído.

Analizando estas tres detenciones, la más crítica es el desalineamiento de la cinta, que puede provocar fallas operacionales y en consecuencia detenciones no programadas. Una de las causas raíces es la limpieza de la cinta, por lo que es aconsejable mejorar en este aspecto. Una de las posibles soluciones, es la instalación de un dispositivo de limpieza adicional a los que se encuentran actualmente instalados.

Tabla 3-38. Detenciones registradas CV-111.

Causa	Duración [h]	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Tapado de correa	24,77	30,14%	30,14%
Cambio posición carro	23,66	28,79%	58,93%
Cambio de polín	10,37	12,62%	71,54%
Falla Pull Cord	8,70	10,59%	82,13%
Limpieza cinta	3,93	4,79%	86,92%
Desgarramiento de empalme	2,62	3,18%	90,10%
Atollo de mineral	2,34	2,84%	92,94%
Fusible de control quemado	2,09	2,54%	95,48%
Inspección cinta	1,19	1,45%	96,93%
Corte transversal en la cinta	0,85	1,04%	97,97%
Cortocircuito	0,78	0,95%	98,92%
Desalineamiento cinta	0,54	0,66%	99,57%
Falla multilin	0,34	0,42%	99,99%
Cambio de guardera	0,01	0,01%	100%

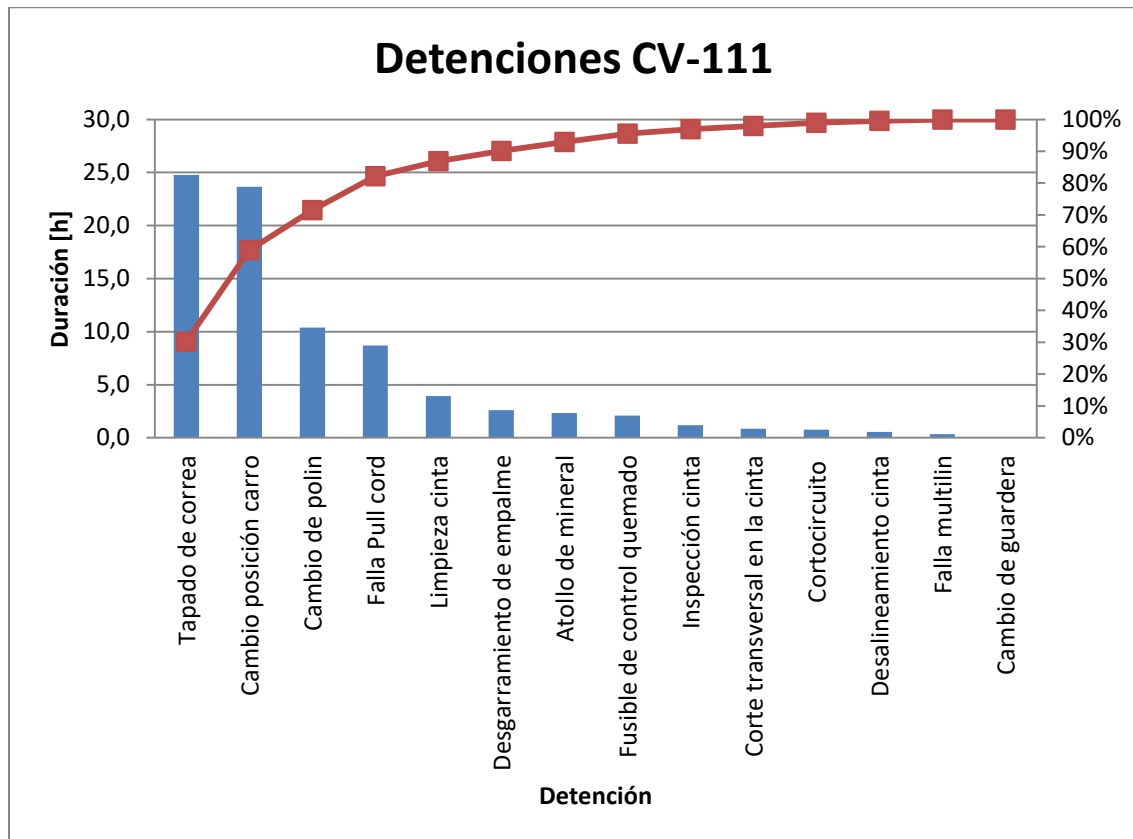


Figura 3-3. Diagrama de Pareto de detenciones CV-111.

Las detenciones de la correa CV-111, se deben principalmente al tapado de la correa, el cambio de la posición del carro y los cambios de polines.

El tapado de la correa consiste en la instalación de una base sobre la correa transportadora, para que puedan ubicarse sobre ella los encargados de hacer mantenimiento. Se utiliza cuando se hacen trabajos con la correa funcionando, con el fin de evitar que el trabajador caiga sobre esta.

El cambio de la posición del carro, se realiza cuando la correa regula su tensión, a través de la carrera que posee el contrapeso y la carrera del carro de la polea tensora.

El cambio de polines es una actividad programada de mantenimiento, en la cual se retiran los polines que se encuentren dañados, se reponen estaciones que estén caídas y se instalan los polines que se requieran, según la zona de la correa en que se ubiquen.

Tabla 3-39. Detenciones registradas CV-112.

Causa	Duración [h]	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Limpieza cinta	5,99	18,40%	18,40%
Cambio Polín	5,65	17,36%	35,75%
Atollo de mineral	4,71	14,48%	50,23%
Vibración alta del motor	3,53	10,84%	61,07%
Cambio guardera	3,39	10,43%	71,50%
Falla en sensor	2,63	8,07%	79,57%
Desalineamiento cinta	2,03	6,24%	85,81%
Falla Pull Cord	1,44	4,43%	90,24%
Inspección cinta	1,18	3,61%	93,86%
Reparación buzón	1,04	3,19%	97,04%
Sobrecarga motor	0,88	2,70%	99,74%
Deslizamiento cinta	0,07	0,22%	99,95%
Derrame de carga	0,01	0,05%	100%

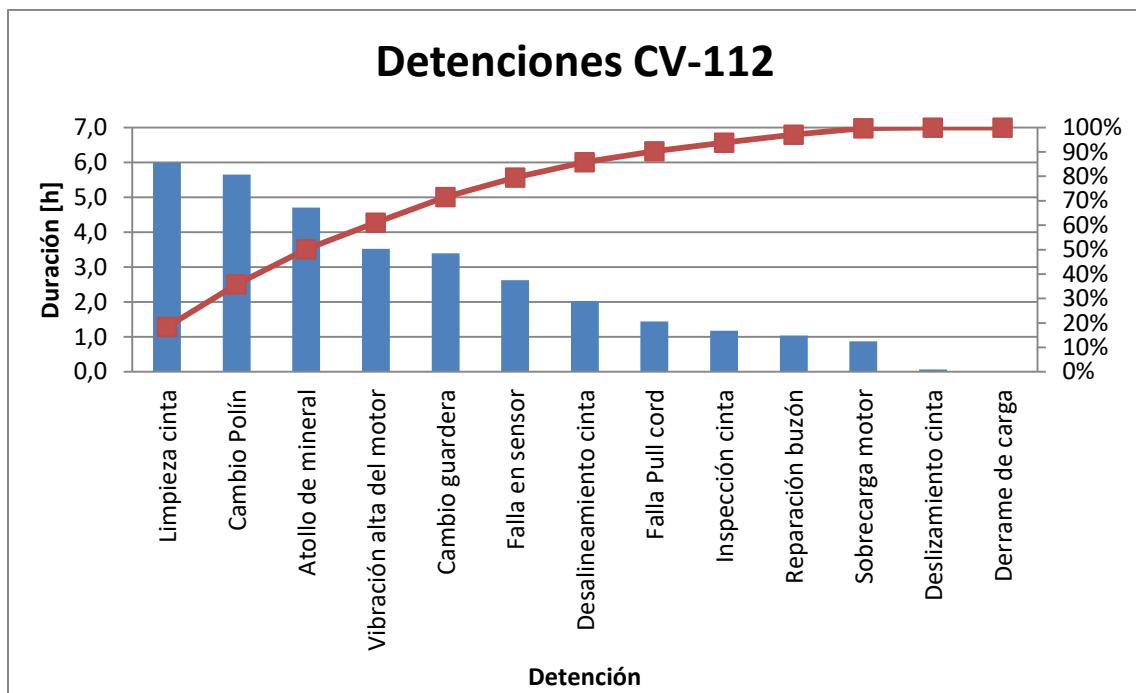


Figura 3-4: Diagrama de Pareto de detenciones CV-112.

Las detenciones de la correa CV-112, se deben principalmente a: la limpieza de la cinta, el cambio de polines, atollo de mineral, vibración alta del motor y el cambio de guarderas.

La limpieza de la cinta, el cambio de polines y guarderas, consisten en las mismas actividades explicadas en las correas anteriores.

El atollo de mineral, se produce cuando existe material acumulado en los chutes de traspaso, creando un tapón, lo que detiene la alimentación de la correa, disminuyendo el nivel de producción. Otro problema que se genera, es cuando el mineral acumulado se derrumba y cae de golpe en la correa, pudiendo generar daños en esta.

La alta vibración del motor se genera cuando existe un desbalanceo del eje entre este y el reductor, o bien, un desbalanceo del voltaje de alimentación, provocando que el motor presente movimientos que no corresponden a su funcionamiento normal.

Tabla 3-40. Detenciones registradas CV-113.

Causa	Duración [h]	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
Cambio de polín	12,09	30,28%	30,28%
Falla motor	9,26	23,20%	53,48%
Corte longitudinal cinta	4,82	12,07%	65,55%
Cambio guardera	4,48	11,22%	76,77%
Activación sensor velocidad cero	3,53	8,85%	85,62%
Falla de acoplamiento	1,82	4,57%	90,19%
Desprendimiento de grampas empalme	1,62	4,05%	94,24%
Limpieza cinta	1,42	3,54%	97,78%
Des alineamiento cinta	0,59	1,48%	99,26%
Derrame de carga	0,30	0,74%	100%

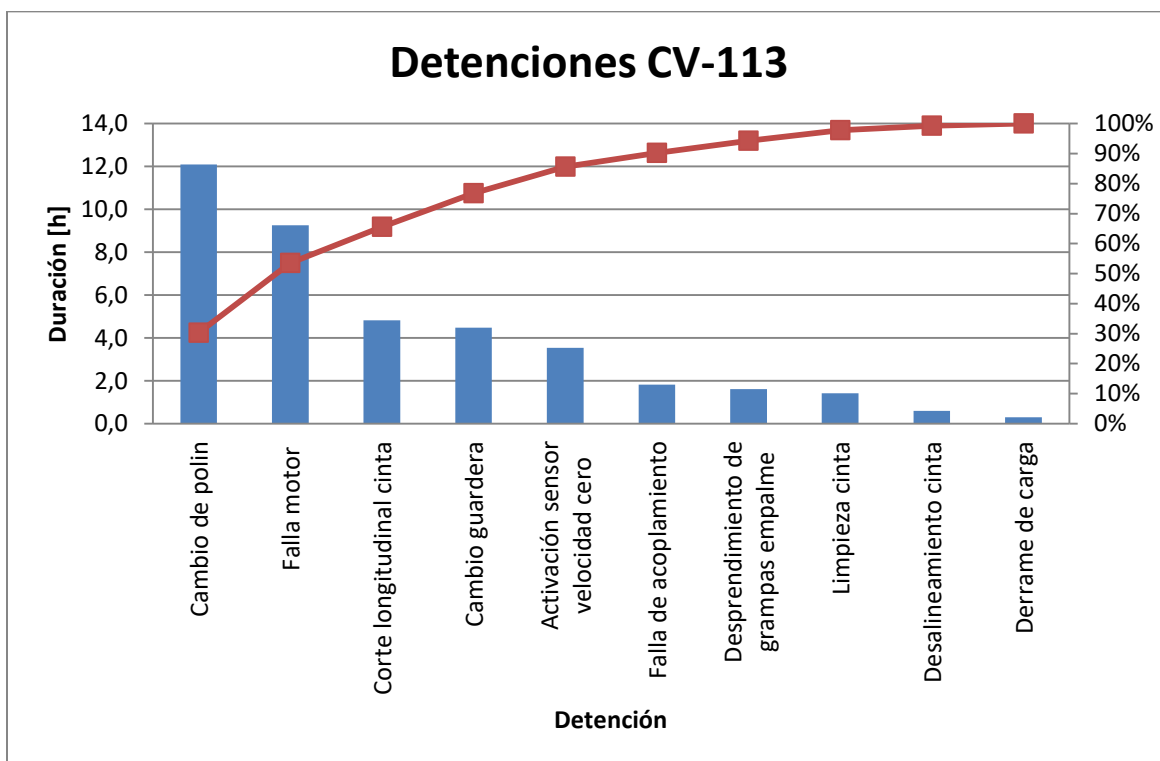


Figura 3-5. Diagrama de Pareto de detenciones CV-113.

Las detenciones de la correa CV-113, se deben a: cambio de polines, fallas en el motor, corte longitudinal en la cinta y cambio de guarderas.

El cambio de polines y guarderas, consisten en las mismas actividades descritas en las correas anteriores.

Las fallas en el motor, provocan su detención inmediata y se producen cuando se activan los mecanismos de protección eléctrica, debido a alta temperatura en los rodamientos, alta temperatura en la bobina o alguna falla en el sistema de control del motor. Otros motivos por los que el motor se detiene son por sobrecarga de torque en el eje del motor, sobre corriente de alimentación y por cortocircuito.

El corte longitudinal en la cinta corresponde, como su nombre lo indica, a un corte generado a lo largo de la correa transportadora.

Tabla 3-41. Detenciones registradas CV-114.

Causa	Duración [h]	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Falla estructural	36,63	55,86%	55,86%
Activación sensor velocidad cero	6,51	9,93%	65,79%
Cambio de polín	5,10	7,78%	73,58%
Falla de PLC	4,36	6,65%	80,23%
Desalineamiento cinta	3,01	4,59%	84,82%
Falla de comunicación	2,41	3,68%	88,49%
Limpieza cinta	2,20	3,35%	91,85%
Cortocircuito	1,32	2,01%	93,85%
Atollo de mineral	1,03	1,57%	95,42%
Reparación buzón	0,82	1,25%	96,66%
Corte de energía	0,66	1,01%	97,67%
Falla Pull Cord	0,59	0,90%	98,58%
Falla de multilin	0,34	0,52%	99,10%
Derrame de carga	0,29	0,44%	99,54%
Inspección cinta	0,16	0,24%	99,78%
Activación Pull Cord	0,15	0,22%	100,00%

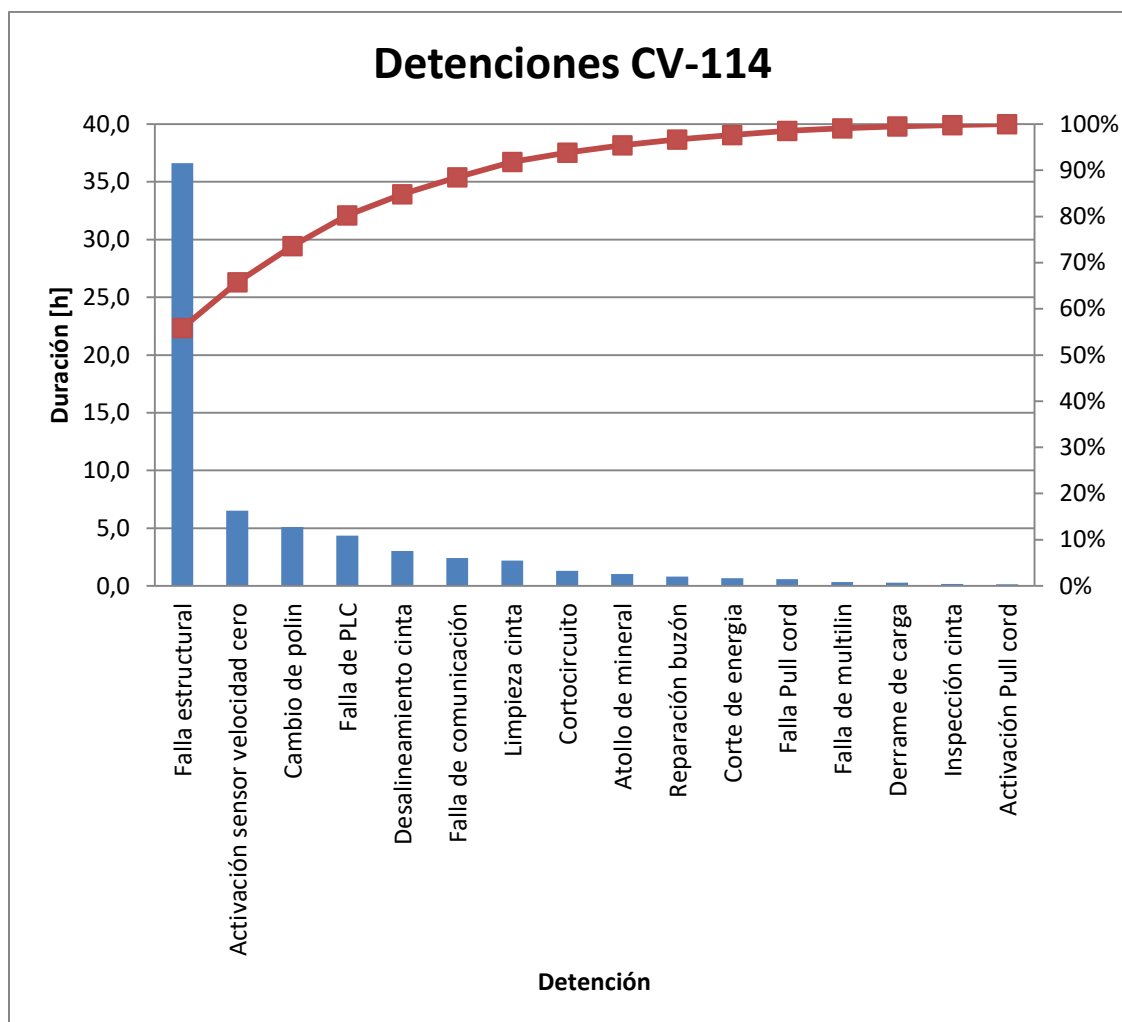


Figura 3-6. Diagrama de Pareto de detenciones CV-114.

Las detenciones de la correa CV-114, se deben principalmente a: fallas estructurales, activación del sensor de velocidad cero, cambio de polines y fallas en el sistema PLC.

Las fallas estructurales, hacen referencia al daño sufrido por las estructuras, principalmente por el entorno de trabajo en el que se encuentran, donde la variable crítica es la presencia del ácido sulfúrico y agua utilizados en el curado del mineral que circula a través de esta correa.

La activación del sensor de velocidad cero, ocurre cuando existe una diferencia de velocidad entre la polea motriz y la polea de cola. Cuando existe dicha diferencia, la correa se detiene automáticamente.

El cambio de polines, consiste en la misma actividad descrita en las correas anteriores.

Las fallas en el sistema PLC, son problemas que afectan directamente la CPU que controla la correa transportadora. Cuando se da esta falla, la CPU no logra resolver la lógica de control, por lo que la correa transportadora se detiene.

3.2.2 Análisis de modos de falla y sus efectos AMFE

A continuación se presentan las tablas elaboradas a partir de un análisis AMFE, realizado a las correas transportadoras, en base a las detenciones seleccionadas con los diagramas de Pareto.

La finalidad de este análisis, es determinar las detenciones críticas, a través de la obtención del número de prioridad de riesgo (NPR).

El primer indicador obtenido es el de gravedad, el cual hace referencia al impacto que provoca en el proceso, la ocurrencia de la falla. Mientras mayor es el número, mayor es el impacto.

Tabla 3-42. AMFE correas transportadoras parte 1.

Proceso	Modo potencial de fallo	Efecto potencial de fallo	Gravedad
Transportar mineral, a través de las correas transportadoras de la línea crítica	Detención de la correa CV-110	Disminución del tonelaje de mineral transportado a las correas de curado	7
	Detención de la correa CV-111	Disminución del tonelaje de mineral transportado a las correas de curado y detención del Chancado Terciario	7
	Detención de la correa CV-112	Detención del sistema de Apilamiento de mineral y Stock Pile terciario llenado hasta su límite permisible	9
	Detención de la correa CV-113	Detención del sistema de Apilamiento de mineral y Stock Pile terciario llenado hasta su límite permisible	9

	Detención de la correa CV-114	Detención del sistema de Apilamiento de mineral y Stock Pile terciario llenado hasta su límite permisible	9

El segundo indicador obtenido es el de ocurrencia, el cual se refiere a la frecuencia con la que se presentan los eventos causales de la falla. Mientras mayor es el valor, implica que el evento tiene mayor probabilidad de ocurrir.

Tabla 3-43.AMFE correas transportadoras parte 2.

Proceso	Modo potencial de fallo	Causa potencial de fallo	Ocurrencia
Transportar mineral, a través de las correas transportadoras de la línea crítica.	Detención de la correa CV-110	Limpieza de la cinta	7
		Desalineamiento de la correa	6
		Cambio de guarderas	5
	Detención de la correa CV-111	Tapado de la correa	6
		Cambio de posición del carro	7
		Cambio de polines	5
	Detención de la correa CV-112	Limpieza de la cinta	7
		Atollo de mineral	5
		Vibración alta del motor	4
		Cambio de polines	6
		Cambio de guarderas	4
	Detención de la correa CV-113	Fallas en el motor	6
		Corte longitudinal en la cinta	4
		Cambio de polines	7
		Cambio de guarderas	4
	Detención de la correa CV-114	Fallas estructurales	8
		Activación del sensor de velocidad cero	6
		Fallas en el sistema PLC	4
		Cambio de polines	5

Finalmente, se obtiene el tercer indicador, correspondiente al de detección. Este corresponde a la facilidad con que puede ser detectada y controlada la falla, a través del mecanismo de control que se disponga para cada caso. Mientras mayor es el número, es mayor la dificultad para encontrar y controlar la falla.

Tras obtener los tres indicadores mencionados anteriormente, se puede calcular el valor del NPR, a través de la multiplicación de estos tres. Mientras mayor sea el valor del NPR, la falla es considerada más crítica, por lo que se deben tratar primero.

Tabla 3-44.AMFE correas transportadoras parte 3.

Proceso	Modo potencial de fallo	Control actual	Detección	NPR
Transportar mineral, a través de las correas transportadoras de la línea crítica.	Detención de la correa CV-110	Utilización de raspadores	3	147
		Utilización de polines auto alineantes	2	84
		Inspección en terreno	8	280
	Detención de la correa CV-111	No existe	10	420
		No existe	10	490
		Inspección en terreno	6	210
	Detención de la correa CV-112	Utilización de raspadores	3	189
		Disminución del tonelaje de mineral	7	315
		Inspección en sala de control	2	72
		Inspección en terreno	6	324
		Inspección en terreno	8	288
	Detención de la correa CV-113	Inspección en sala de control	2	108
		Inspección en terreno	3	108
		Inspección en terreno	6	378
		Inspección en terreno	8	288
	Detención de la correa CV-114	Inspección en terreno	8	576

		Inspección en sala de control	3	162
		Inspección en sala de control	1	36
		Inspección en terreno	6	270

De cada correa se seleccionó la causa de detención más crítica, para analizarlas en el siguiente segmento. Estas se encuentran ennegrecidas en las últimas dos tablas.

3.2.3 Diagrama Causa – Efecto

A partir de las causas de detención críticas, obtenidas del análisis AMFE, se procede a utilizar el Diagrama de Ishikawa o Causa-Efecto. Este tiene el objetivo de determinar y clasificar las causas raíces de los motivos de detención de las correas seleccionados.

A continuación se presentan los diagramas elaborados para cada correa:

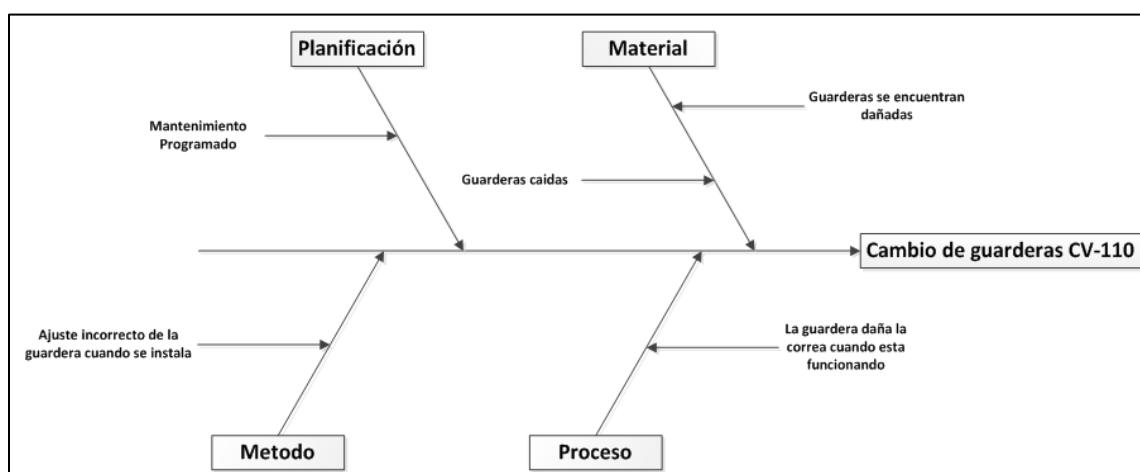


Figura 3-7. Diagrama de Ishikawa CV-110.

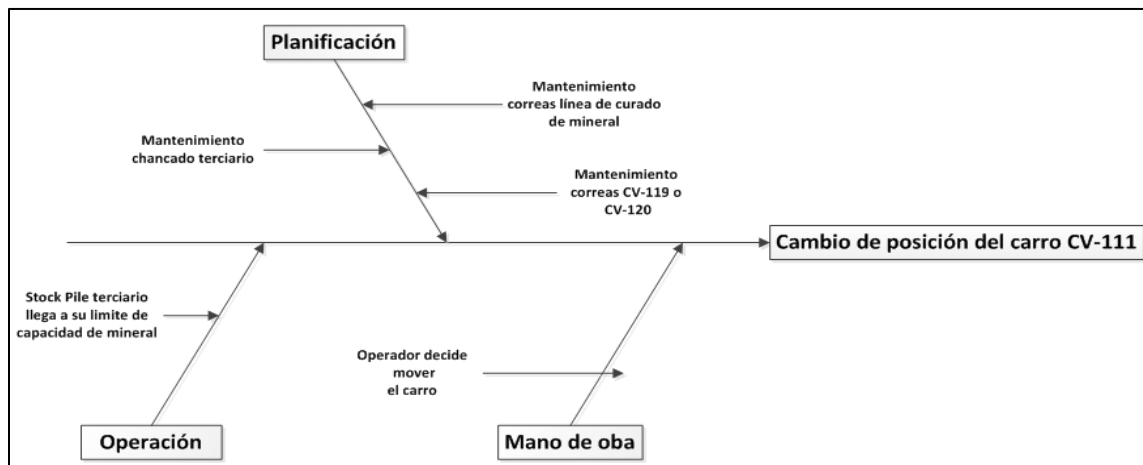


Figura 3-8. Diagrama de Ishikawa CV-111.

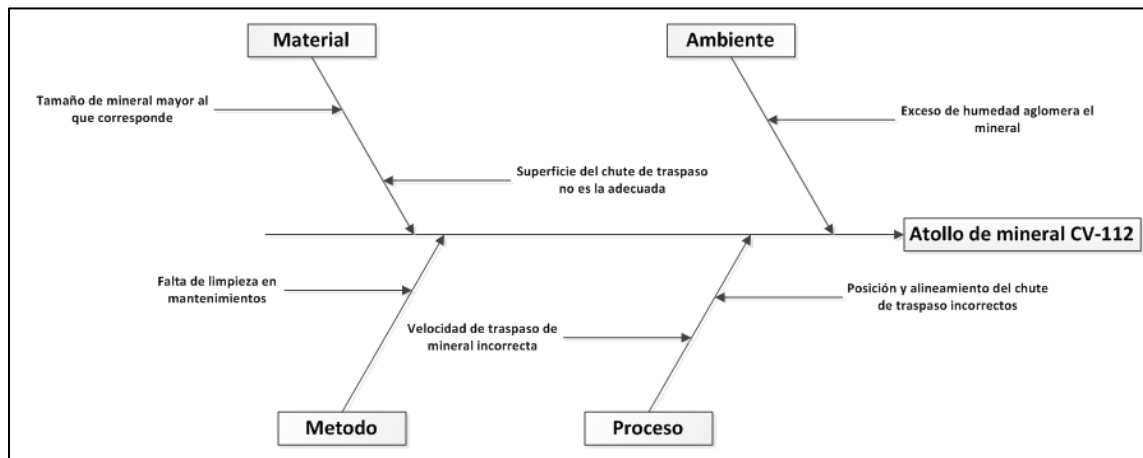


Figura 3-9. Diagrama de Ishikawa CV-112.

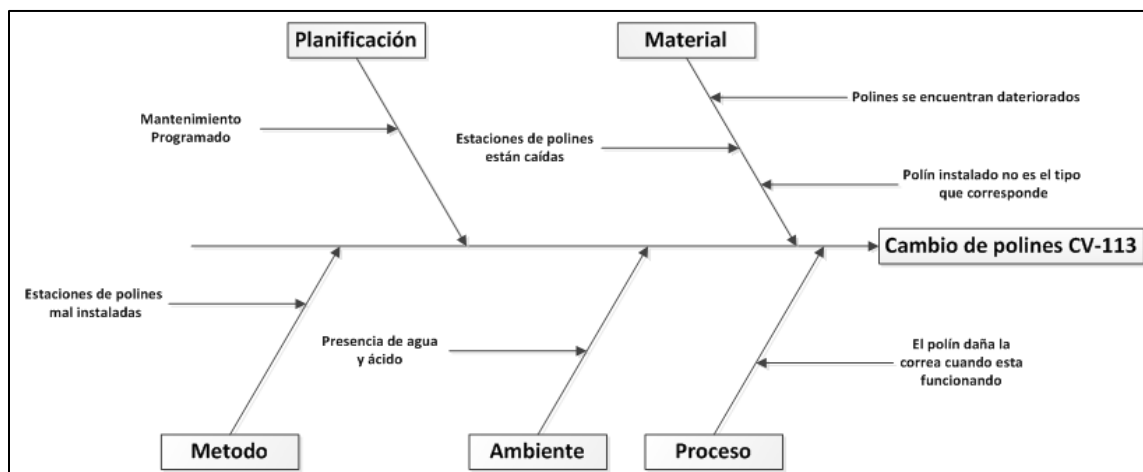


Figura 3-10. Diagrama de Ishikawa CV-113.

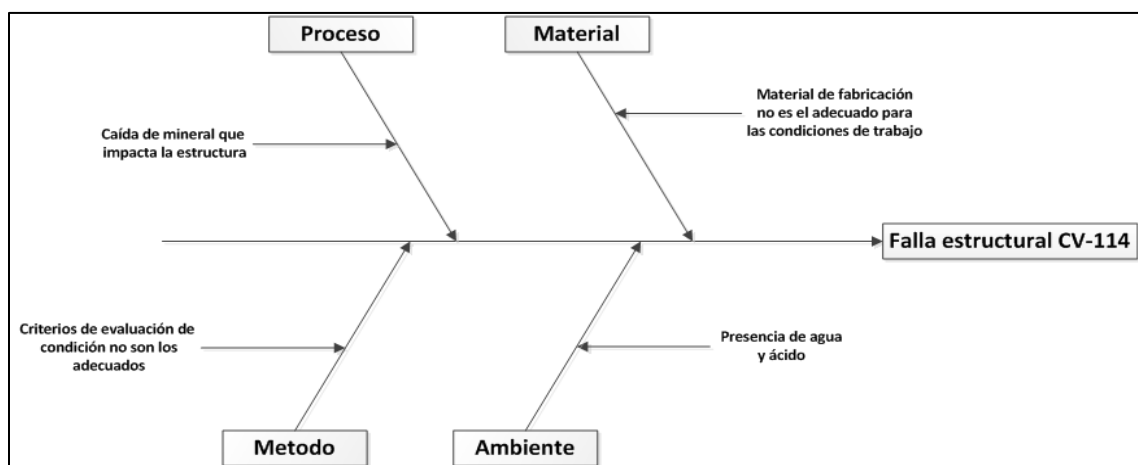


Figura 3-11. Diagrama de Ishikawa CV-114.

3.2.4 Análisis de resultados

Tras utilizar las tres herramientas de análisis de datos anteriores, se logró diferenciar entre las causas de detención críticas y aquellas que no son de una importancia significativa para la operación de las correas. Dentro de estas se encuentran: cambio de guarderas, cambio de polines, fallas en el motor, corte en la cinta, desalineamiento de la cinta, fallas estructurales, fallas en el sistema de control, activación del sensor de velocidad cero, tapado de cinta y atollo de mineral.

De todas las causas de detención mencionadas anteriormente, se seleccionaron las de mayor índice de criticidad, para encontrar sus raíces, que pueden ser observadas en los Diagramas de Ishikawa de la sección anterior.

Poniendo en contraste las detenciones y sus causas raíces, con la línea principal del presente informe, es posible descartar que existan problemas operacionales debido a fallas en el sistema tensor de las correas transportadoras. Por otra parte, es posible determinar que la tensión de operación que existe actualmente en las cintas analizadas, tampoco es motivo de las detenciones que se han registrado.

3.3 Mantenimiento

En esta sección, se abordaran dos temas de importancia, los cuales son: el mantenimiento que se realiza actualmente a los sistemas tensores, y por otro lado, la participación del sistema tensor en la mantención de las correas transportadoras analizadas. Este análisis tiene como propósito, el encontrar alguna falencia en el plan de mantenimiento de los sistemas tensores y determinar la criticidad, en términos de tiempo, del sistema tensor en los mantenimientos generales de las correas.

4.3.1 Mantenimiento del sistema tensor

Es posible diferenciar entre dos actividades, por un lado se tiene la inspección del sistema tensor y por el otro lado se tienen las actividades de mantención tal para este sistema. Ambas serán detalladas a continuación.

Inspección

El objetivo de la inspección, es poder registrar y alertar alguna condición fuera de lo normal en el equipo a inspeccionar, que en este caso es el sistema tensor. Esta tarea se debe realizar todos los días y con las correas funcionando.

A continuación se presenta una tabla con el listado de actividades asociadas a la inspección, la cual es idéntica para las cinco correas analizadas.

Tabla 3-45. Tareas de inspección del sistema tensor. [24]

Tarea	Condición correcta
Revisión de la estructura del contrapeso.	Sin golpes ni deformación.
Verificación de la nivelación del contrapeso.	Nivelado.
Revisión del estado de las uniones soldadas.	Sin grietas ni fisuras.
Revisión de los tensores.	Sin deformaciones.
Revisión del estado de los torones del cable.	Sin daños.
Revisión del estado de los alambres del cable.	Sin hebras cortadas.
Revisión del estado del alma del cable.	No se encuentra a la vista.
Revisión del estado de la prensa del cable (Crosby de 3/4").	Sin daños.
Revisión del estado de las guías del contrapeso.	Sin deformaciones ni fisuras.
Revisión de las uniones apernadas.	Sin solturas ni pernos faltantes.

Todas las actividades enlistadas anteriormente, son del tipo inspección visual del equipo, ya que la correa se encuentra en funcionamiento, por lo que no se puede intervenir de ninguna manera física el sistema tensor, ni cualquier otro sistema de la correa transportadora.

Mantención

La mantención es una actividad programada, cuyo objetivo es asegurar la disponibilidad del sistema tensor en el tiempo, asegurar su correcto funcionamiento y evitar que este falle.

La tabla 63 contiene las tareas que se realizan en la mantención programada del sistema tensor. Es posible notar que consisten en las mismas actividades de inspección más un grupo de tareas que requieren de intervención directa en el sistema tensor, lo cual si es posible realizar, ya que la correa y sus equipos asociados se encuentran detenidas y bloqueadas como corresponde.

Tabla 3-46. Tareas de mantención del sistema tensor. [25]

Tarea	Condición correcta
Lubricación de los bujes de las ruedas del carro tensor.	-
Lubricación de los pasadores de las poleas.	-
Medición y registro del espesor del cable.	-
Contraste de medición del cable con uno nuevo.	-
Revisión del asentamiento de las poleas.	Sin desgaste del canal visible ni excesivo.
Revisión del estado de las uniones soldadas.	Sin grietas ni fisuras.
Revisión de los tensores.	Sin deformaciones.
Revisión del estado de los torones del cable.	Sin daños.
Revisión del estado de los alambres del cable.	Sin hebras cortadas.
Revisión del estado del alma del cable.	No se encuentra a la vista.
Revisión del estado de la prensa del cable (Crosby de 3/4").	Sin daños.
Revisión del estado de las guías del contrapeso.	Sin deformaciones ni fisuras.
Revisión de las uniones apernadas.	Sin solturas ni pernos faltantes.

3.3.2 El sistema tensor en el mantenimiento de las correas transportadoras

Existen actividades de mantención realizadas en las correas transportadoras que requieren el destensado de la cinta y su posterior tensado al finalizar el mantenimiento, tareas en las que el sistema tensor es el elemento principal. Dentro de las actividades que requieren el destensado de la cinta, están:

- Cambio de la cinta.
- Re empalme de la cinta.
- Cambio de poleas.
- Cambio de polines de carga.

Se requieren los siguientes equipos y herramientas para realizar el destensado de la cinta:

- Grúa de 90 toneladas.
- Escalera.
- Cajas de herramientas generales.
- Grilletes.

Además de los elementos mencionados, cada trabajador involucrado debe estar obligatoriamente equipado con sus elementos de protección personal.

A continuación se describirán las maniobras de destensado y tensado de la cinta.

Destensado de la cinta

Para la realización del destensado de la cinta, es necesario que se haya realizado previamente el bloqueo de la correa transportadora y sistemas asociados, la prueba de energía cero y el llenado de los documentos de trabajo correspondientes.

El destensado comienza con el posicionamiento de la grúa a un costado de la torre del contrapeso. Una vez que se encuentra ubicada donde corresponde, se comienza a maniobrar la grúa, buscando bajar el cable de la pluma de la grúa a través del espacio abierto en la cima de la torre del contrapeso. Se debe bajar la punta del cable hasta la altura de la cara superior del contrapeso, donde se engancha mediante grilletes a este mismo.

Cuando ya se encuentran asegurados los grilletes con sus pasadores, se comienza la maniobra de tiro de la grúa, elevando el contrapeso hasta una altura determinada, en donde ya no ejerce tensión el cable que va conectado al carro tensor. En este punto, se debe posicionar un trabajador sobre el contrapeso, para que libere el grillete que conecta el contrapeso al carro tensor y de esta forma, el contrapeso quede colgando únicamente de la grúa. Luego el trabajador se debe bajar del contrapeso.

Una vez que el contrapeso queda sostenido sólo por la grúa, se debe comenzar a bajar con la grúa hasta que llegue a piso, en donde se dejará finalmente durante la mantención. Luego se debe liberar los grilletes que lo mantienen acoplado a la grúa, para poder retirar esta última.

El tiempo total que se demora el destensado es de una hora y media.

Tensado de la cinta

Una vez terminada la mantención, es necesario regresar todos los equipos a su estado inicial, para que puedan ser energizados y comenzar su operación.

En el caso de la correa transportadora, esta debe ser tensada para que pueda funcionar correctamente. Básicamente la tensión de la cinta, corresponde a realizar los pasos del destensado en el orden contrario, tal como se describe a continuación.

El primer paso es posicionar la grúa a un costado de la torre del contrapeso y maniobrar la grúa de tal manera, que el cable de la pluma baje por el espacio abierto de la cima de la torre, hasta llegar a la altura del contrapeso, que se encuentra a nivel del piso.

Una vez que la punta del cable de la pluma está en la posición indicada, se debe enganchar al contrapeso, mediante los grilletes y ser fijados mediante sus pasadores correspondientes.

Luego comienza la maniobra de tiro de la grúa, elevando el contrapeso hasta la altura necesaria para poder acoplar el cable del carro tensor al contrapeso, mediante un grillete.

Para esto se debe posicionar un trabajador sobre el contrapeso, instalar el grillete y luego bajarse del contrapeso.

Tras la unión del contrapeso con el cable tensor, se debe bajar el contrapeso mediante la grúa, hasta el punto en que quede tirante este cable. En este punto, se debe subir nuevamente el trabajador al contrapeso, para sacar el grillete utilizado para las maniobras con la grúa y luego bajar del contrapeso.

Una vez liberado el cable de la grúa, el sistema tensor ajusta la tensión de la cinta mediante la carrera del contrapeso en la torre, llegando a quedar fijo a una altura determinada, lo que indica que el ajuste ya se realizó. En paralelo, se debe retirar la grúa del área del contrapeso.

El tiempo total que se demora el tensado es de una hora y media.

3.3.3 Análisis del mantenimiento

Respecto a las actividades de inspección y mantención que se les hace a los sistemas tensores, es posible apreciar a simple vista que ambos contemplan las mismas tareas, diferenciándose únicamente la mantención con el listado de actividades que requieren la detención del equipo a intervenir y los equipos asociados.

Por otra parte, si bien es cierto, el sistema tensor no es un equipo crítico según el análisis de detenciones, su pauta de inspección es básica. Su principal falencia, es el hecho de que no toma en cuenta las diferentes condiciones operacionales a las que se someten las correas analizadas, como por ejemplo, la presencia de ácido y agua en las correas de curado.

Por el lado de la pauta de mantenimiento, su simplicidad y similitud con las actividades de inspección, radica en que se trata de un sistema que es atendido a condición, es decir, cuando se detecta una falla durante la inspección realizada, esta es notificada, para programar las actividades de mantenimientos pertinentes a la falla.

Respecto a la participación del sistema tensor de las correas en las actividades de mantenimientos que requieren destensado y tensado de la cinta, se tienen dos puntos clave que se deben atender. Por un lado se tiene la seguridad de los trabajadores que intervienen en las maniobras con el contrapeso, quienes trabajan sobre y bajo una carga suspendida. Por otra parte, se encuentra el tiempo que se utiliza para realizar el destensado y tensado, que es elevado, lo que aumenta el tiempo de mantenimiento, y por ende, disminuye el tiempo de producción de la faena.

Según lo mencionado anteriormente, es necesario mejorar y hacer la diferencia en el listado de actividades de mantenimiento que se realizan en cada sistema tensor, buscar la manera de disminuir los riesgos de las maniobras de destensado y tensado de la cinta y también la reducción del tiempo empleado para ambas maniobras.

4. Propuesta de mejora

De la sección anterior, es posible rescatar que el punto débil de los sistemas tensores es su mantenimiento junto a las actividades que contempla y la seguridad y tiempo que se ven involucradas en el tensado y destensado de las cintas, cuando se realiza una mantención en las correas transportadoras que lo requiera. Es por esto que la propuesta de mejora, se encontrará orientada a solucionar dichos problemas.

4.1 Determinación de las soluciones

A continuación, se presentan una serie de ideas para lograr solucionar los problemas mencionados anteriormente.

- A. Mejorar las pautas de inspección y mantenimiento, integrando las actividades correspondientes según las correas transportadoras analizadas.
- B. Cambiar los sistemas tensores actuales por otro tipo de tensor.
- C. Instalar un sistema de apoyo para realizar el tensado y destensado de las cintas.
- D. Cambiar las condiciones de operación de las correas transportadoras, para que sea igual para todas ellas.
- E. Acelerar la maniobra de destensado y tensado, para disminuir el tiempo utilizado.
- F. Utilizar un mayor recurso humano en la inspección y mantenimiento de los sistemas tensores.

Para determinar las ideas a desarrollar, se ingresaron en una matriz de impacto v/s esfuerzo, de la cual se escogerán aquellas que generen un alto impacto y su esfuerzo no sea mayor que un nivel medio.

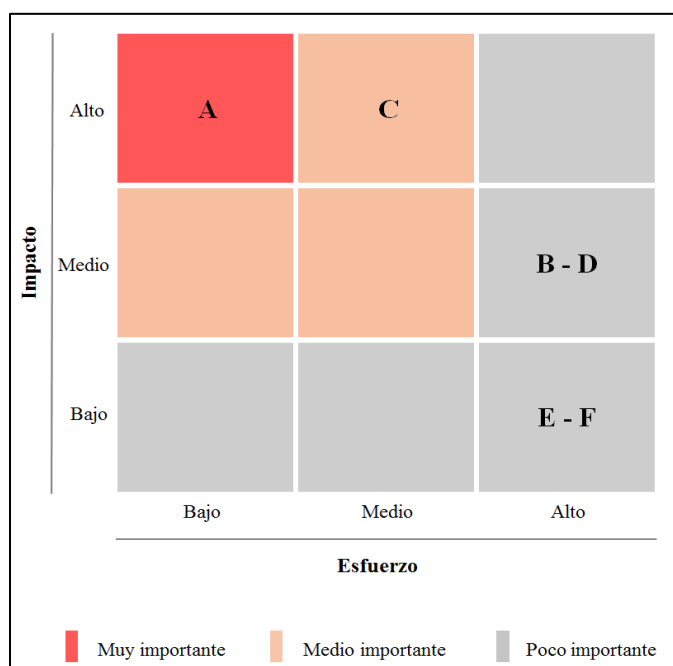


Figura 4-1. Matriz de impacto v/s consecuencia.

De acuerdo a la matriz elaborada, las dos propuestas de mejora a realizar son las letras A y C.

4.2 Mejora de las pautas de inspección y mantenimiento

Se elaboraron pautas de inspección y mantenimiento, cuyo fin es mantener en constante control los sistemas tensores, promover un mantenimiento preventivo y evitar que ocurran fallas críticas imprevistas.

Los documentos elaborados, se encuentran en la sección de Anexos: Anexo 7, Anexo 8 y Anexo 9.

Es posible apreciar que las pautas de inspección diferencian entre las correas a inspeccionar, tomando en cuenta las condiciones de operación en las que se encuentran.

A su vez, la pauta de mantenimiento integra la totalidad de las correas analizadas, teniendo como valor agregado las mediciones que se deben realizar en el cable de acero que soporta el contrapeso, elemento crítico en los sistemas tensores del tipo gravitacional. Además, se indican la acción a seguir, según el caso que se presente al momento de realizar el mantenimiento.

4.3 Sistema de apoyo para el sistema tensor

El sistema de apoyo a instalar debe acoplarse a los sistemas tensores por contrapeso y su función principal será la de facilitar y agilizar el proceso de tensado y destensado de las correas transportadoras, eliminando de forma definitiva el uso del recurso grúa para dicha labor.

El sistema a implementar será un winche, complementado con los accesorios de izaje necesarios para ser utilizado para elevar y bajar el contrapeso.

A continuación se presentan los análisis de factibilidad técnica y económica para la implementación del sistema de apoyo mencionado.

4.3.1 Factibilidad técnica

En esta sección se detallaran los datos técnicos asociados al sistema a implementar, tales como la descripción de sus componentes, layout, modificaciones, costos asociados, entre otros.

Descripción del sistema

El sistema consta de un winche, que es un dispositivo mecánico, impulsado por un motor, destinado a levantar y desplazar grandes cargas [26]. El tipo de winche a utilizar será del tipo eléctrico, debido a que su costo de inversión y operación es menor que el de uno de tipo hidráulico y se cuenta con redes eléctricas cercanas a los puntos de instalación de los winches, por lo que no será necesario realizar grandes cambios estructurales para su instalación.

Enrollado en el tambor del winche se tendrá un cable de acero recubierto, el cual mediante un sistema de roldanas, que se encontrarán a nivel de piso, en la cima de la torre y en suspensión dentro de la torre, jalará el contrapeso.

Para la utilización del cable será necesario una serie de elementos para acondicionarlo, tales como guardacabos, prensa cable, grilletes, entre otros.

Además de los elementos descritos anteriormente, se realizarán modificaciones estructurales a las torres de contrapeso y la estructura que soporta el contrapeso, con el fin de acondicionarlas al uso de la propuesta de mejora.

Como barrera dura, se instalaran vallas papales en el perímetro de cada sistema instalado, con el fin de evitar el ingreso de personal al área, durante periodos que no correspondan.

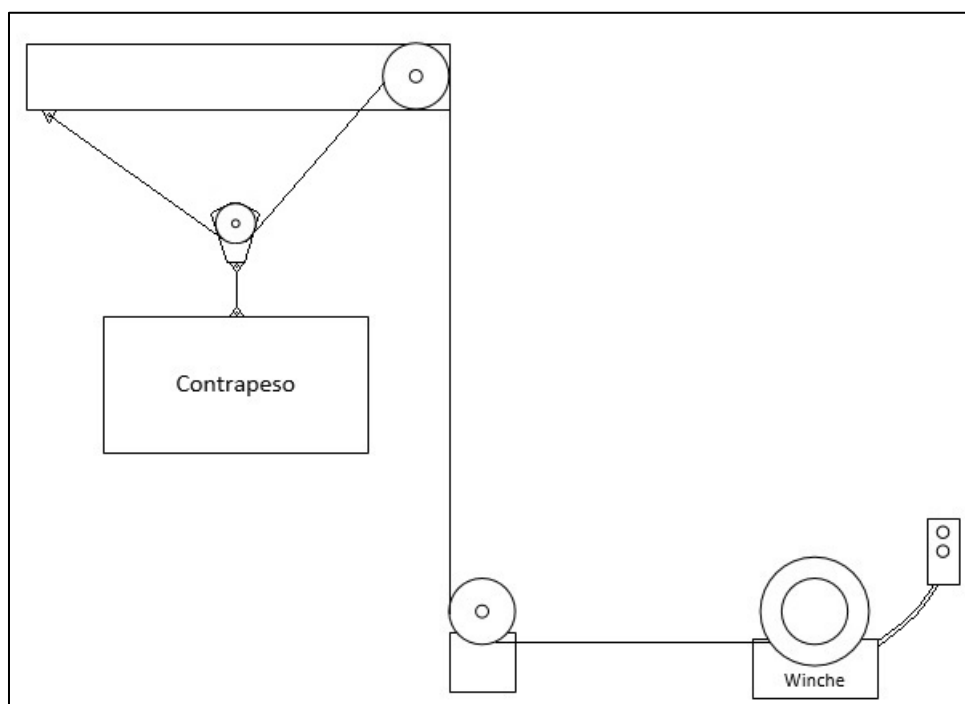


Figura 4-2. Esquema de instalación del sistema auxiliar.

Layout

Los sistemas a instalar tendrán las disposiciones en terreno mostradas en las figuras que se presentan a continuación.

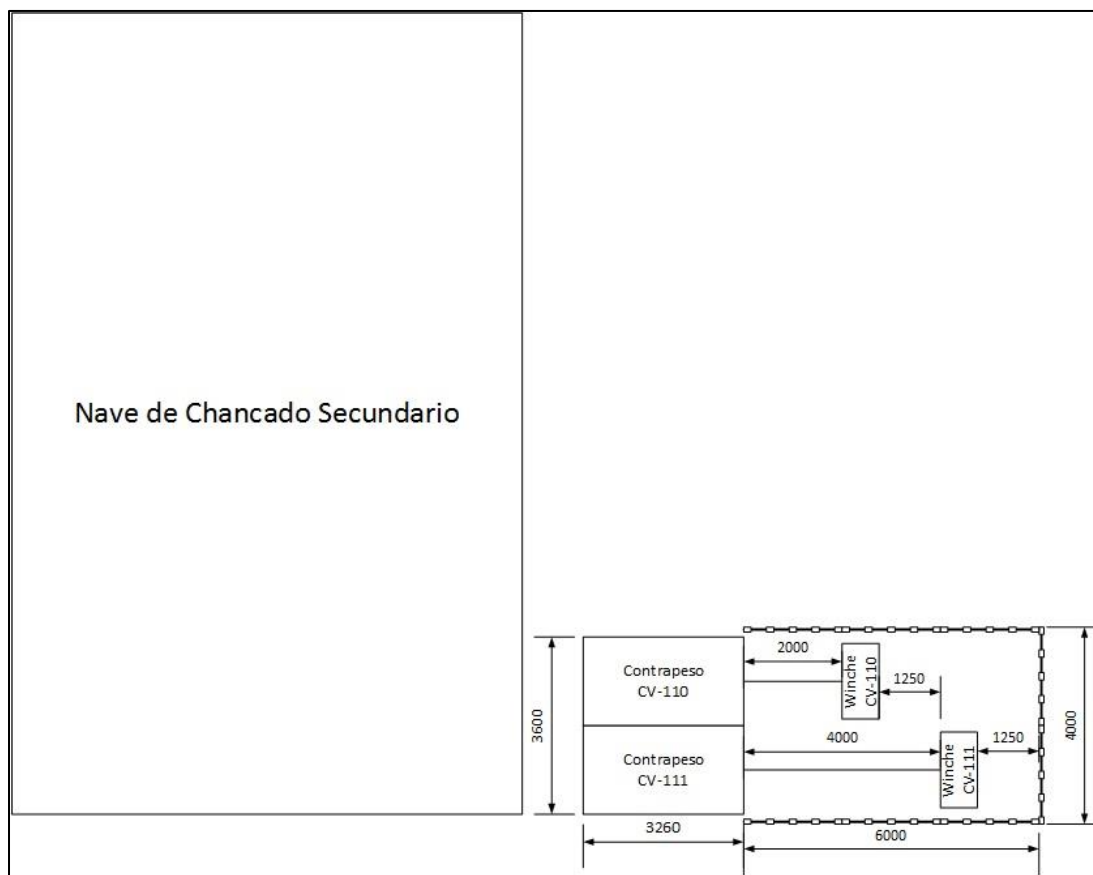


Figura 4-3: Layout sistema auxiliar tensor CV-110 y CV-111.

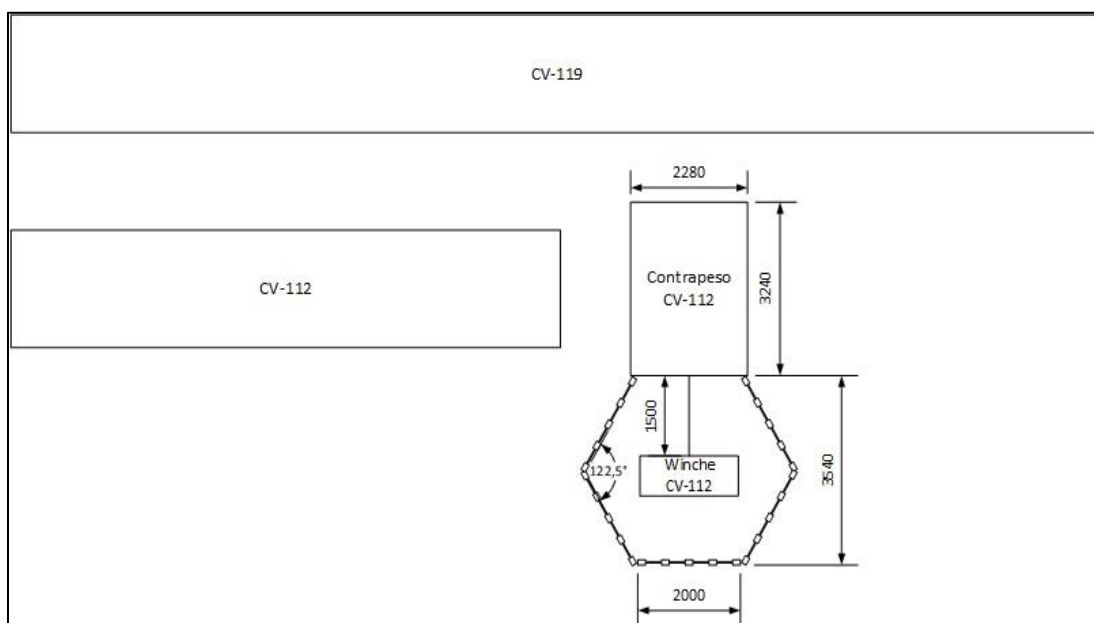


Figura 4-4. Layout sistema auxiliar tensor CV-112.

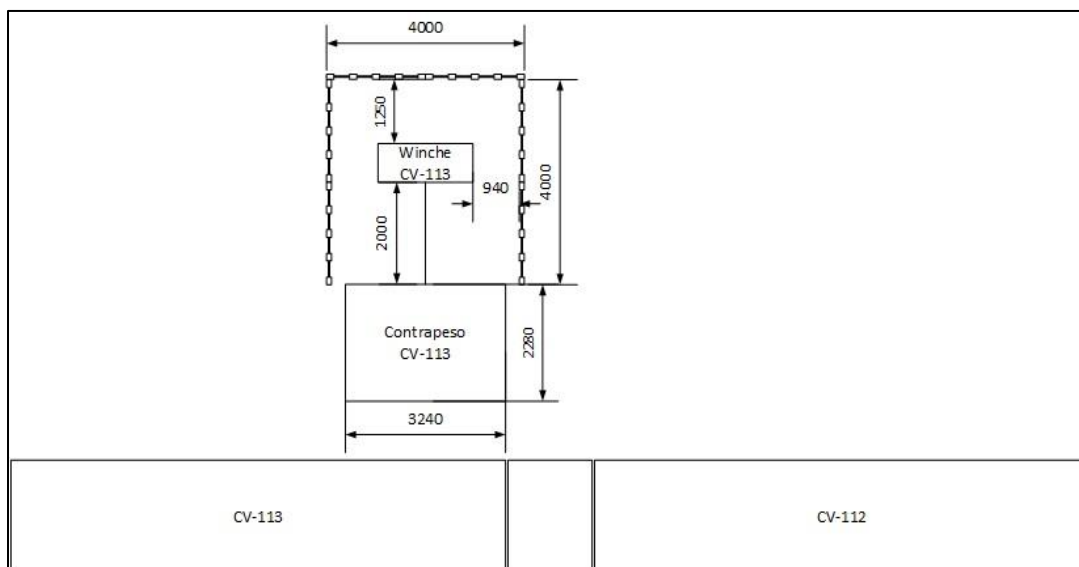


Figura 4-5. Layout sistema auxiliar tensor CV-113.

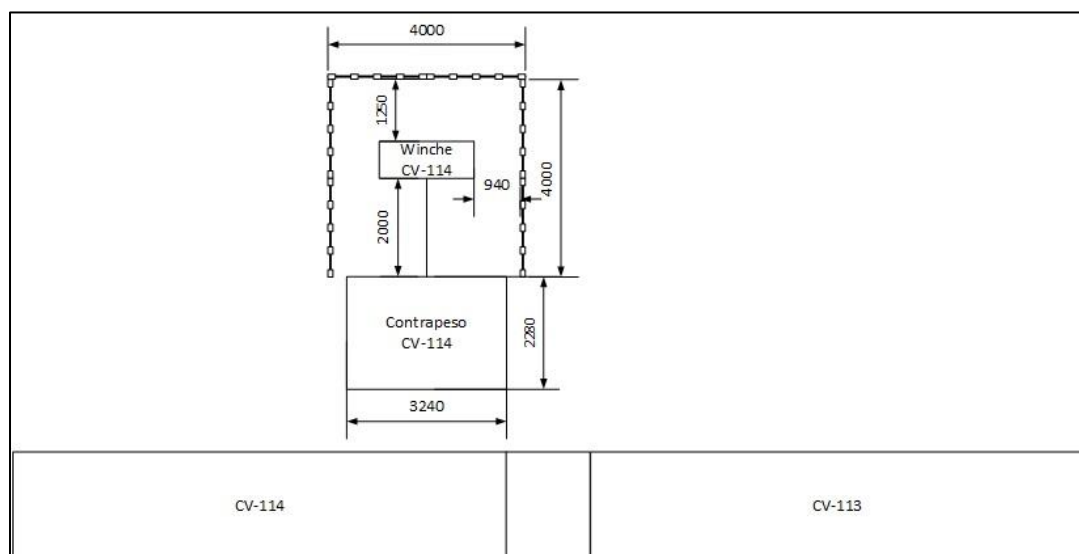


Figura 4-6. Layout sistema auxiliar tensor CV-114.

Especificaciones técnicas de los componentes

Winche eléctrico y cable

A continuación se presentan las características de fábrica del winche a instalar:

- Marca: Pro Winch.
- Modelo: PWG7700.
- Capacidad primera capa: 7.700 [kg].
- Velocidad: 10 – 18 [m/min].
- Voltaje: 380 [V] @ 50/60[Hz].

- Potencia: 20 [Hp].
- Peso total: 1.200.
- Freno: Electromagnético.

En la figura 84 es posible apreciar las dimensiones del winche.

El winche incluye el cable, cuyas características son las siguientes:

- Material: Acero con alma de fibra.
- Diámetro: 22,2 [mm].
- Largo: 250 [m].
- Construcción: 6x19 (ver figura 85).

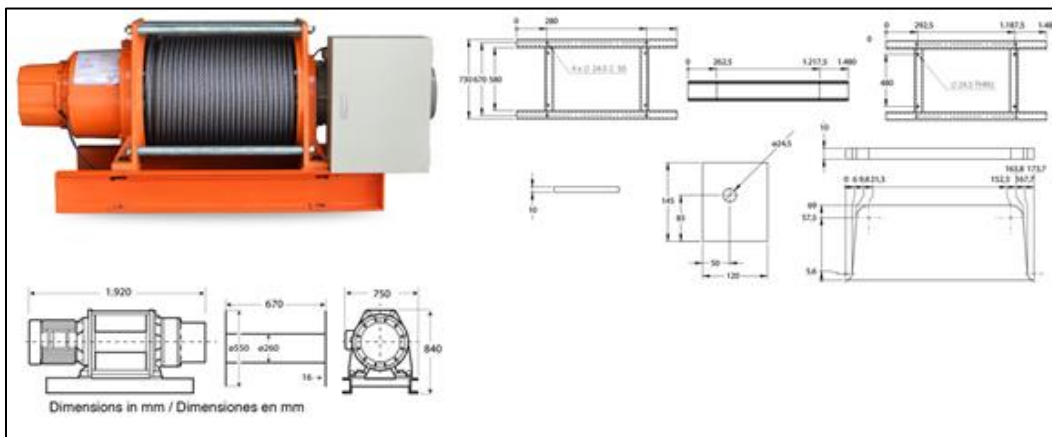


Figura 4-7. Dimensiones winche eléctrico Pro Winch.

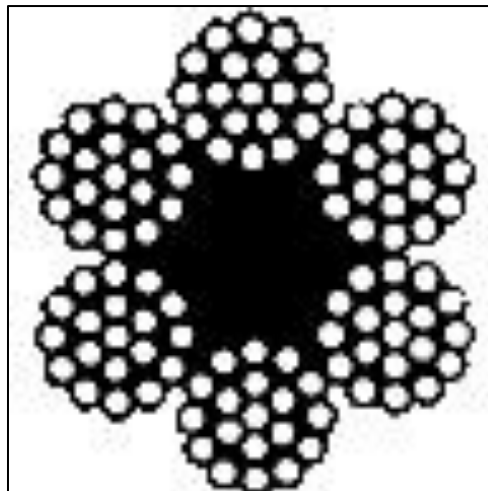


Figura 4-8. Corte transversal cable acero 6x19 con alma de fibra.

Poleas

El diseño contempla tres tipos de roldanas, las cuales se describen a continuación.

Roldana móvil

- Marca: Pro Winch.
- Modelo: PWPS8T.
- Capacidad: 8.000 [kg].
- Diámetro: 200 [mm].
- Factor de seguridad: 4.
- Peso: 18,7 [kg].

Roldana fija 1

- Marca: Pro Winch.
- Modelo: PWDU2000X.
- Capacidad: 2.000 [kg].
- Diámetro: 275 [mm].
- Factor de seguridad: 10.
- Peso: 18 [kg].

Roldana fija 2

- Marca: Pro Winch.
- Modelo: PWPF400.
- Capacidad: 10.000 [kg].
- Diámetro: 400 [mm].
- Factor de seguridad: 4.
- Peso: 75 [kg].

Las siguientes tres imágenes muestran las dimensiones de las roldanas descritas.

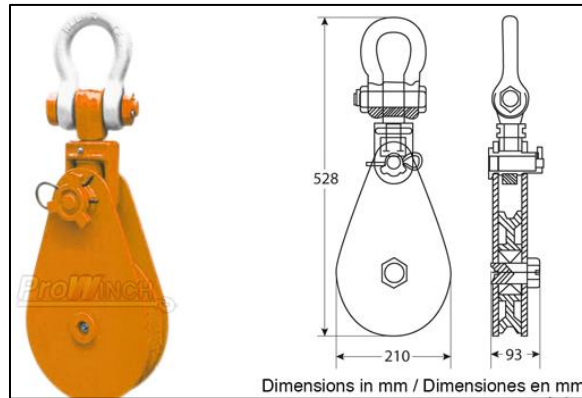


Figura 4-9. Dimensiones roldana móvil. [27]

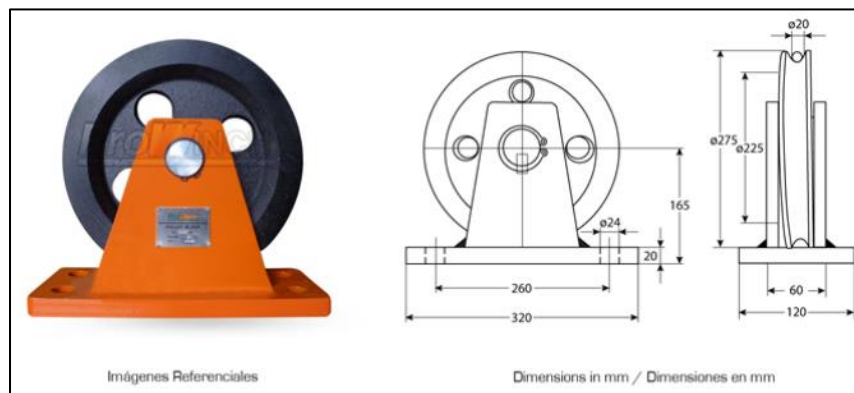


Figura 4-10. Dimensiones roldana fija 1. [27]

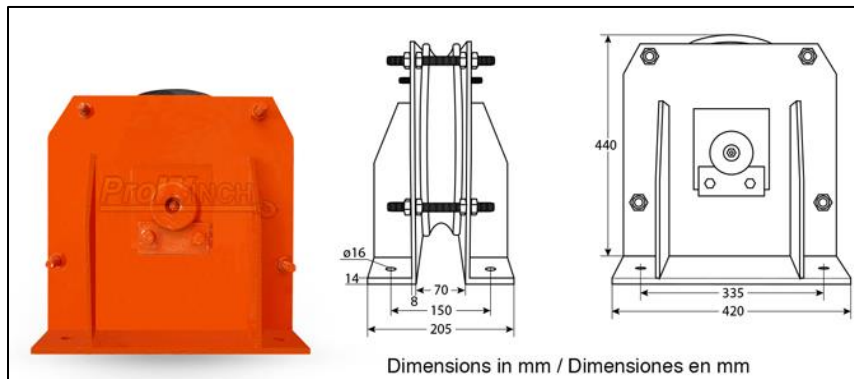


Figura 4-11. Dimensiones roldana fija 2. [27]

Accesorios de izaje para el cable

La utilización del cable de acero conlleva a utilizar una serie de elementos para prepararlo para las maniobras de izaje y para realizar el acople con el objeto a levantar.

Grillete

- Marca: Pro Winch.
- Para cable de 22,2 [mm] de diámetro.
- Material: Acero galvanizado.
- Facto de seguridad: 4.



Figura 4-12. Grillete industrial. [27]

Guardacabo

- Para cable de 22,2 [mm].
- Material: Acero inoxidable.
- Alta resistencia al desgaste y deformación del ojo del cable.



Figura 4-13. Guardacabo industrial. [28]

Prensa Crosby

- Para cable de 22,2 [mm].
- Material: Acero galvanizado.
- Alta resistencia al desgaste.



Figura 4-14. Prensa Crosby. [29]

Componentes eléctricos

Dentro de esta categoría se encuentran todos los elementos necesarios para la fuente de energía eléctrica para el winche.

Tablero eléctrico

- Marca: Legrand.
- Modelo: Atlantic-E.
- Dimensiones: 600x400x250 [mm].
- Espesor: 1,2 [mm].
- Material: Metal.



Figura 4-15. Tablero eléctrico. [30]

Enchufe hembra

- Marca: Legrand.
- Tipo: Embutido.

- Enchufe: 3P + T
- Voltaje: 380 – 415 [V] @50-60 [Hz].
- Corriente: 32 [A].
- Material: Poliamida 6, auto extingible.



Figura 4-16. Enchufe hembra industrial. [31]

Cable eléctrico

- Marca: Conductores Eléctricos Nacionales.
- Tipo: 4x4 AWG
- Aplicación: Potencia y control.
- Diámetro: 21 [mm].
- Corriente máxima: 76 [A] @30[°C] en ducto / 83 [A]@30[°C] al aire libre.
- Voltaje máximo: 1000 [V].



Figura 4-17. Cable eléctrico 4x4 AWG. [32]

Fitting eléctrico

Contempla los materiales necesarios para realizar el canalizado subterráneo del cableado eléctrico.

- Marca: Tigre.
- Largo del tubo: 6 [m]
- Diámetro: 25 [mm].
- Espesor de pared: 1,5 – 1,9 [mm].
- Color: Naranja

- Material: PVC.
- Auto extingüible.



Figura 4-18. Tubo de PVC conduit. [33]

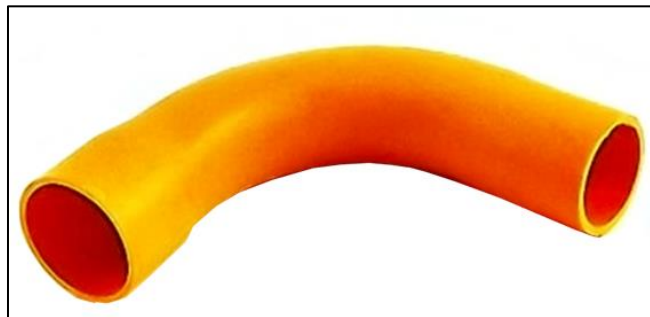


Figura 4-19. Curva de PVC conduit. [33]

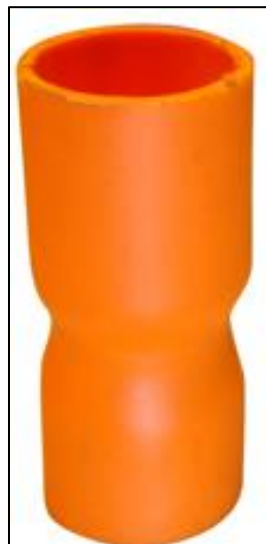


Figura 4-20. Conector de PVC conduit. [33]



Figura 4-21. Salida de PVC conduit. [33]

Segregación del área

Como se mencionó en el comienzo de esta sección, se utilizarán vallas papales en el perímetro del sistema instalado, las cuales se describen a continuación:

Vallas papales

- Largo: 2 [m]
- Alto: 1,5 [m].
- Fabricadas en perfiles de 20x30x2 [mm].
- Recubiertas con anticorrosivo.



Figura 4-22. Valla papal. [34]

Modificaciones estructurales

Para implementar la mejora desarrollada, es necesario realizar unas modificaciones estructurales a las torres de contrapeso, adaptándolas a la utilización del sistema auxiliar. A continuación se especifican dichos cambios.

Torre de contrapeso CV-110 y CV-111

Debido a la forma que presenta la torre de contrapeso en su cima, es necesario realizar una extensión vertical con una forma similar a la que poseen las torres de contrapeso de las correas de curado de mineral, para poder en ese sector implementar instalar las poleas fijas tipo 1.

Como se puede apreciar en la figura 100, la parte superior de la extensión cuenta con dos pares de vigas centrales cuya función es ser carril para las roldanas y además al final de estas, están instaladas unas orejas (figura 101), donde se acoplará el final del cable de acero proveniente del winche.

Características de fabricación de la extensión de la torre de contrapeso:

- Altura extensión: 900 [mm].
- Dimensión del marco superior: 3.260x3.600 [mm].
- Material: Acero ASTM36.
- Tipo de viga: Canal C 200x75x6 [mm].
- Factor de seguridad: 4.

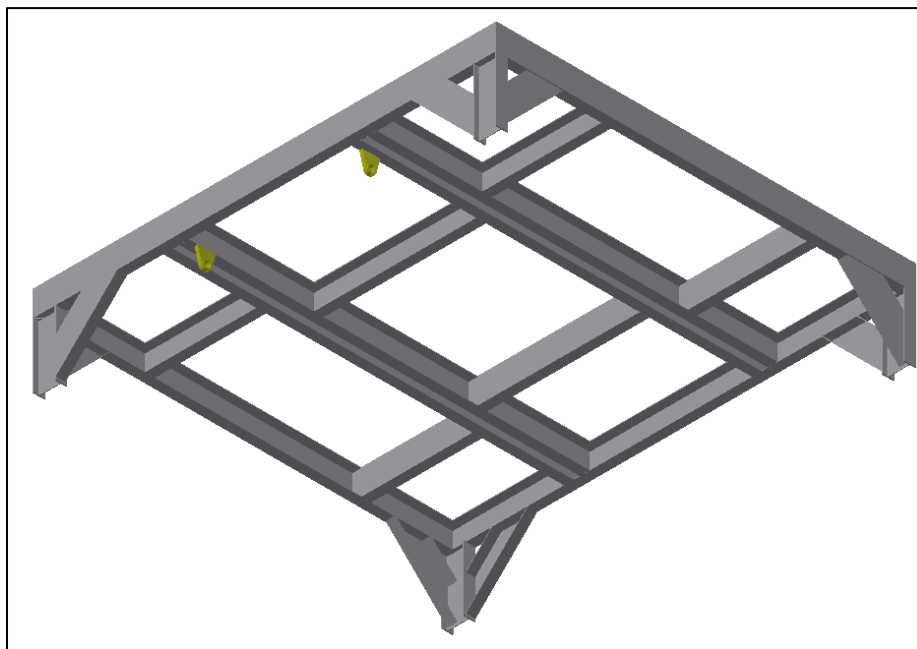


Figura 4-23. Modificación estructural torre de contrapeso CV-110 y CV-111.

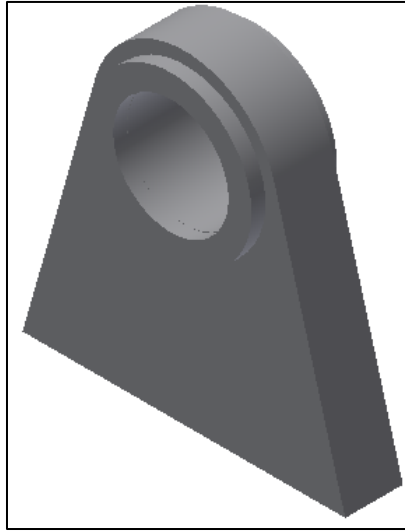


Figura 4-24. Diseño referencial de la oreja.

Características de fabricación la oreja:

- Espesor: 40 [mm].
- Diámetro perforación: 35 [mm].
- Material: Acero ASTM36.
- Factor de seguridad: 4.

Torre de contrapeso CV-112

La modificación de esta torre es la instalación de un par de vigas centrales en la cima que ejecutaran la misma función que las mencionadas en la modificación anterior. Estas serán dispuestas de forma transversal al par de vigas centrales que ya posee la torre. Al final de las vigas se encuentra la oreja que se conecta al final del cable.

La figura 102 muestra cómo quedará instalada la viga en la en la parte superior de la torre.

Características de fabricación del carril

- Largo total: 3.240 [mm].
- Material: Acero ASTM36.
- Tipo de viga: Canal C 200x75x6 [mm].
- Factor de seguridad: 3.

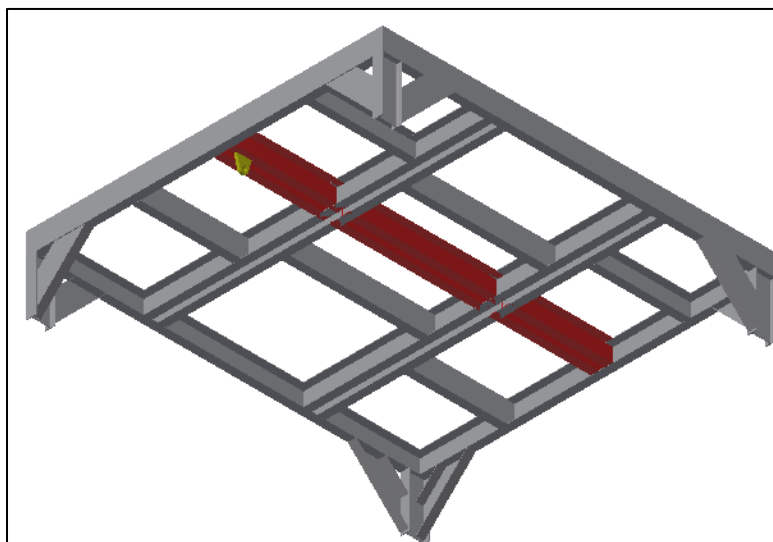


Figura 4-25. Modificación estructural torre de contrapeso CV-112.

Torre de contrapeso CV-113 y CV-114

Al igual que la torre de contrapeso CV-112, se instalarán en ambas torres las vigas centrales que funcionan de carril para las roldanas, pero de forma paralela al par de vigas que posee la torre en su parte superior. Al igual que las modificaciones anteriores, las vigas cuentan con una oreja instalada en el final.

Es posible apreciar como quedarán ambas cimas de las torres en la figura 103.

Las características de fabricación son idénticas a las de la viga de la torre de contrapeso CV-112, cambiando únicamente su largo total a 2.280 [mm].

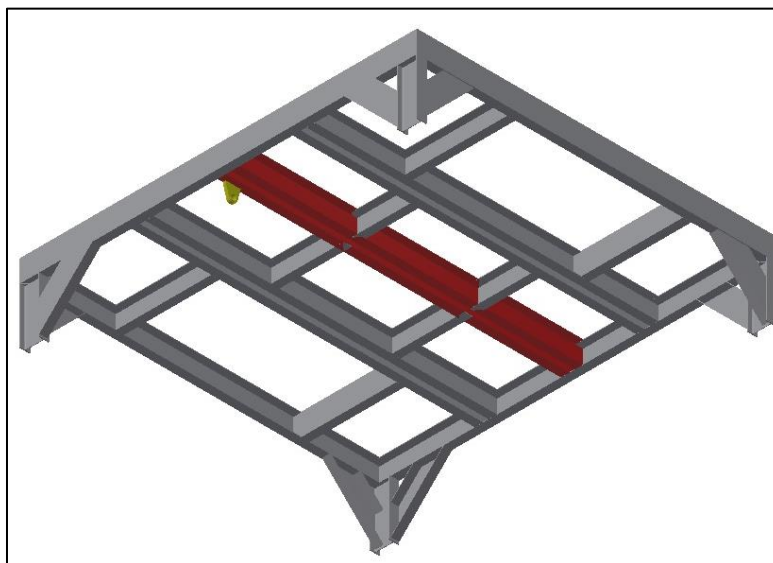


Figura 4-26. Modificación estructural torre de contrapeso CV-113 y CV-114.

CAPEX

Los costos de apertura asociados al desarrollo del proyecto de mejora, hacen referencia a todos aquellos en los que se debe incurrir para la instalación y puesta en marcha de los sistemas auxiliares tensores para la totalidad de las torres de contrapeso analizadas. Es posible distinguir dos grupos de costos: equipos y mano de obra.

Equipos

En este grupo se encuentran contemplados todos los insumos necesarios para el ensamble de cinco sistemas auxiliares y las conexiones eléctricas asociadas para su alimentación.

Mano de obra

Dentro de este ítem, se consideró la mano de obra necesaria para realizar las modificaciones estructurales de las torres de contrapeso y para el montaje de los sistemas junto con el acondicionamiento y elaboración del conexionado eléctrico.

Las modificaciones estructurales de las torres junto con su instalación, fueron cotizadas con la empresa colaboradora Metalcae.

Para el montaje de los sistemas y el conexionado eléctrico, se consideró el valor promedio de una cuadrilla de trabajo, la cual considera las siguientes personas:

- 1 supervisor.
- 3 mecánicos.
- 1 eléctrico.

La tabla 64 resume todos los costos mencionados anteriormente, entregando finalmente el valor del CAPEX del proyecto.

Tabla 4-1. Costos de apertura del proyecto.

Ítem	Detalle	Cantidad	Valor unitario [CLP]	Valor total [CLP]	IVA total [CLP]	Valor final [CLP]
Equipos	Winche eléctrico. [27]	5	19.301.176	96.505.880	18.336.117	114.841.997
	Roldana móvil. [27]	5	134.000	670.000	127.300	797.300
	Roldana fija tipo 1. [27]	8	173.412	1.387.296	263.586	1.650.882
	Roldana fija tipo 2. [27]	5	707.412	3.537.060	672.041	4.209.101
	Grillete. [27]	7	6.000	42.000	7.980	49.980
	Guardacabo. [36]	12	3.693	44.316	8.420	52.736
	Prensa Crosby. [37]	49	1.270	62.230	11.824	74.054
	Cable eléctrico. [33]	200	5.374	1.074.800	204.212	1.279.012
	Tubo de PVC.[33]	34	1.060	36.040	6.848	42.888
	Conector de PVC. [33]	40	29	1.160	220	1.380
	Curva de PVC. [33]	12	61	732	139	871
	Salida de PVC. [33]	4	32	128	24	152
	Tablero eléctrico. [30]	4	1.451.000	5.804.000	1.102.760	6.906.760
	Enchufe trifásico. [31]	5	19.175	95.875	18.216	114.091
	Protecciones. [34]	25	98.532	2.463.300	468.027	2.931.327
Total Equipos						132.952.532
Mano de obra	Extensión torre contrapeso CV110-111.	1	2.343.240	2.343.240	445.216	2.788.456
	Fabricación de vigas soporte para poleas torres contrapeso CV-112-113-114.	3	679.200	2.037.600	387.144	2.424.744
	Fabricación de orejas de tiro.	9	90.560	815.040	154.858	969.898
	Instalación de modificaciones estructurales.	1	9.870.000	9.870.000	1.875.300	11.745.300
	Montaje de equipos.	1	-	-	-	13.500.000
	Conexiónado eléctrico	1	-	-	-	13.500.000
Total Mano de obra						44.928.397
Total CAPEX						177.880.929

OPEX

Los costos de operación asociados a los sistemas que se desean implementar, se dividen en fijos y variables, y se detallan a continuación.

Costo fijo

Dentro de esta categoría, se tiene considerado el costo de inspección y mantenimiento de los sistemas auxiliares, el cual corresponde al de una cuadrilla con las mismas especificaciones indicadas en la mano de obra del CAPEX.

Costo variable

Como costos variables se consideraron dos ítems: la energía eléctrica y los repuestos del sistema.

El consumo de energía eléctrica, se calculó en base a la potencia del winche eléctrico y el precio medio de mercado entregado por el Sistema Interconectado del Norte Grande. Además para determinar el tiempo de utilización se utilizaron los siguientes supuestos:

- Mantenimientos que requieren destensado y tensado de la cinta al año: 35.
- Tiempo de utilización del winche por mantenimiento: 24 [h].

La tabla 65 resume los datos mencionados y la secuencia de cálculos, para obtener finalmente el consumo eléctrico anual del sistema.

Por otro lado se consideran los repuestos necesarios para ensamblar un sistema completo por año, como medida preventiva, ya que no debiera fallar el equipo hasta el fin de su vida útil, manteniendo condiciones de operación regulares.

La tabla 66 muestra el valor de los costos asociados a la operación del proyecto.

Tabla 4-2. Consumo eléctrico del sistema.

Energía eléctrica	
Potencia Winche [Hp]	20
Potencia Winche [W]	14.914
Tiempo uso por mantención [h]	24
Consumo por mantención [kWh]	357,9
Mantenimientos en el año	35
Consumo en el año [kWh]	12.527,8
Precio Medio de Mercado SING [CLP/kWh]b[35]	51,86
Costo Energía Eléctrica Anual [CLP]	649.690

Tabla 4-3. Costos de operación del proyecto.

Costo	Detalle	Valor mensual [CLP]	Valor anual [CLP]
Fijo	Inspección y mantenimiento.	13.500.000	162.000.000
	Total costo fijo.	13.500.000	162.000.000
Variable	Energía eléctrica.	-	649.690
	Repuestos.	-	26.993.966
	Total costo variable	-	27.643.656
Total OPEX		13.500.000	189.643.656

4.3.2 Factibilidad económica

En esta sección, se analizará el proyecto de mejora que se desea implementar, desde el punto de vista financiero, con el objetivo de determinar si es rentable para la empresa llevar a cabo el proyecto.

Flujo de caja

A continuación se detallan los elementos que constituyen el flujo de caja del proyecto.

Aumento de producción de cobre apilado

Este ítem constituye uno de los dos ítems que dan origen a los ingresos que puede generar el proyecto para la empresa.

Debido a que el tiempo de destensado y tensado de las cintas disminuye con la utilización del sistema de apoyo, el mantenimiento que se esté llevando adelanta su hora de término y puesta en marcha del sistema, ganando de este modo el tonelaje de mineral apilado que se cubre con la diferencia de tiempo. La cantidad de mineral apilado se transforma a un valor monetario, siendo dicha cifra colocada en el flujo de caja.

Para determinar el valor monetario del tonelaje apilado, se debe calcular la diferencia de tonelaje perdido en el año con las condiciones actuales de destensado y tensado, con la pérdida de tonelaje anual asociada a la propuesta de mejora. Primero es necesario determinar el tonelaje apilado en cada caso y luego corregir ese valor multiplicándolo por la utilización efectiva, la ley de mineral que se está extrayendo de la mina y la recuperación mediante las pilas de lixiviación. Finalmente se debe multiplicar el valor obtenido por la diferencia entre el precio del cobre y el costo directo (C1) de la empresa.

La tabla 67 contiene todos los datos necesarios para la obtención de las pérdidas de tonelaje en cada caso, junto con el valor en sí de estas pérdidas.

Para determinar las horas de detención anual, se consideró lo siguiente:

- Mantenimientos en el año con tensado y destensado: 35.
- Tiempo de destensado más tensado con grúa: 3 [h].
- Tiempo de destensado más tensado con el sistema propuesto: 1,5 [h].

Por otro lado, para hacer la conversión de dólares a pesos chilenos, se utilizó el valor del dólar registrado el día lunes 29 de agosto [40], correspondiente a \$672,14 [CLP].

Tabla 4-4. Pérdida económica por tonelaje no apilado.

Línea Crítica y Apilamiento	Situación actual	Situación con mejora
Tonelaje promedio [tph]	9.500	9.500
Horas de detención anual [h]	105	52,5
Tonelaje apilado [Ton]	997.500	498.750
Utilización efectiva [%] [38]	94	94
Ley del cobre [%] [38]	0,45	0,45
Recuperación [%] [38]	70	70
Precio del cobre [centavo/lb] [39]	209,65	209,65
Costo C1 Codelco RT [centavo/lb] [38]	144,5	144,5
Pérdida económica potencial [\$US]	3.842.122	1.921.061
Pérdida económica potencial [CLP]	2.582.444.180	1.291.222.090

El valor monetario del tonelaje apilado obtenido con la mejora al año es de: \$1.291.222.090 [CLP].

Para términos prácticos, el valor obtenido se mantuvo constante para el periodo considerado en el flujo de caja, debido a que se ve afectado por variables que no se pueden proyectar en el tiempo de manera precisa.

Ahorro de grúas

Con la implementación de los sistemas auxiliares, se elimina la utilización del recurso grúa para los mantenimientos requieren el destensado y tensado de las cintas. El ahorro monetario generado tras esto, constituye el segundo elemento de los ingresos generados por el proyecto.

Para determinar el costo de utilización de la grúa en el año, se consideró lo siguiente:

- Costo de arriendo de la grúa: \$250.000 [CLP/h].
- Tiempo de uso de la grúa por cada mantenimiento: 24 [h].
- Mantenimientos en el año con tensado y destensado: 35.

Con estos datos, se obtuvo que el costo anual por el uso de grúas es de: \$210.000.000 [CLP]. Dicho valor constituye el ingreso por ahorro del recurso grúa para los mantenimientos y es el que va incorporado en el flujo de caja.

Se supuso un aumento de un 5% bianual en el valor de las grúas, considerando la inflación que existe en el mercado actual.

Costos

Este ítem corresponde al valor total del costo operacional del proyecto, el cual se reajustará de forma anual con una tasa de descuento de un 10 [%].

Inversión y depreciación de activos

La inversión en activos inicial corresponde a los componentes necesarios para ensamblar los cinco sistemas auxiliares que contempla el proyecto.

En la tabla 68 aparecen los valores de los activos, su vida útil según el Servicio de Impuestos Internos para activos instalados en faenas mineras y el valor de su depreciación anual.

Tabla 4- 5. Inversión inicial y depreciación de activos.

Activo	Inversión [CLP]	Vida útil [años] [41]	Depreciación [CLP] [41]
Winche eléctrico.	114.841.997	5	22.968.399
Roldana móvil.	797.300	5	159.460
Roldana fija tipo 1.	1.650.882	5	330.176
Roldana fija tipo 2.	4.209.101	5	841.820
Grillete.	49.980	5	9.996
Guardacabo.	52.736	5	10.547
Prensa Crosby.	74.054	5	14.811
Cable eléctrico.	1.279.012	5	255.802
Tubo de PVC.	42.888	5	8.578
Conector de PVC.	1.380	5	276
Curva de PVC.	871	5	174
Salida de PVC.	152	5	30
Tablero eléctrico.	6.906.760	5	1.381.352
Enchufe trifásico.	114.091	5	22.818
Protecciones.	2.931.327	5	586.265

El quinto año se considera una reinversión correspondiente a los mismos componentes considerados en la inversión inicial, debido a que cumplen con su vida útil. Se considera un reajuste de sus precios con la tasa de descuento de 10[%]. La tabla 69 reúne los valores de los activos reinvertidos y su depreciación.

Tabla 4- 6.Reinversión del año 5 y depreciación de activos.

Activo	Inversión [CLP]	Vida útil [años] [41]	Depreciación [CLP] [41]
Winche eléctrico.	168.140.168	5	33.628.034
Roldana móvil.	1.167.327	5	233.465
Roldana fija tipo 1.	2.417.057	5	483.411
Roldana fija tipo 2.	6.162.545	5	1.232.509
Grillete.	73.176	5	14.635
Guardacabo.	77.211	5	15.442
Prensa Crosby.	108.422	5	1.684
Cable eléctrico.	1.872.601	5	374.520
Tubo de PVC.	62.792	5	12.558
Conector de PVC.	2.021	5	404
Curva de PVC.	1.275	5	255
Salida de PVC.	223	5	45
Tablero eléctrico.	10.112.187	5	2.022.437
Enchufe trifásico.	167.041	5	33.408
Protecciones.	4.291.756	5	858.351

Flujo de caja

Reuniendo los elementos detallados anteriormente, se elaboró el flujo de caja del proyecto.

Tabla 4- 7.Flujo de caja parte I.

Ítem	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Aumento de producción		\$1.291.222.090	\$1.291.222.090	\$1.291.222.090	\$1.291.222.090
Ahorro de recurso grúa		\$210.000.000	\$210.000.000	\$220.500.000	\$220.500.000
Costos		\$189.643.656	\$208.608.021	\$229.468.823	\$252.415.706
Depreciación		\$26.590.506	\$26.590.506	\$26.590.506	\$26.590.506
Utilidad antes de impuesto		\$1.284.987.928	\$1.266.023.562	\$1.255.662.760	\$1.232.715.878
Impuesto		\$256.997.586	\$253.204.712	\$251.132.552	\$246.543.176
Utilidad después de impuesto		\$1.027.990.342	\$1.012.818.850	\$1.004.530.208	\$986.172.702
Depreciación		\$26.590.506	\$26.590.506	\$26.590.506	\$26.590.506
Inversión en activo fijo	\$177.880.929				
Flujo de caja	-\$177.880.929	\$1.054.580.849	\$1.039.409.356	\$1.031.120.714	\$1.012.763.209

Tabla 4- 8.Flujo de caja parte II.

Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
\$1.291.222.090	\$1.291.222.090	\$1.291.222.090	\$1.291.222.090	\$1.291.222.090	\$1.291.222.090
\$231.525.000	\$231.525.000	\$243.101.250	\$243.101.250	\$255.256.313	\$255.256.313
\$277.657.276	\$305.423.004	\$335.965.304	\$369.561.835	\$406.518.018	\$447.169.820
\$26.590.506	\$38.931.160	\$38.931.160	\$38.931.160	\$38.931.160	\$38.931.160
\$1.218.499.307	\$1.178.392.926	\$1.159.426.875	\$1.125.830.345	\$1.101.029.224	\$1.060.377.422
\$243.699.861	\$235.678.585	\$231.885.375	\$225.166.069	\$220.205.845	\$212.075.484
\$974.799.446	\$942.714.340	\$927.541.500	\$900.664.276	\$880.823.379	\$848.301.938
\$26.590.506	\$38.931.160	\$38.931.160	\$38.931.160	\$38.931.160	\$38.931.160
\$194.655.802					
\$806.734.150	\$981.645.501	\$966.472.661	\$939.595.436	\$919.754.540	\$887.233.098

Indicadores económicos

A continuación se presentan los indicadores económicos extraídos del flujo de caja elaborado en la sección anterior, con lo cual se puede determinar la factibilidad económica del proyecto.

- VAN: \$5.827.717.786 [CLP].
- TIR: 591[%].
- IVAN: \$32,76 [CLP].
- PAYBACK: 1 [año].

Interpretación de los indicadores económicos

- VAN: El valor obtenido es bastante elevado, lo que indica que es un proyecto rentable y su ejecución es recomendable desde el punto de vista económico.
- TIR: La tasa interna de retorno es mucho mayor que la tasa de descuento aplicada en el flujo de caja del proyecto, por lo que el rendimiento económico del proyecto es elevado y se recomienda su implementación.
- IVAN: Al ser un valor mayor a uno, indica que el desarrollo del proyecto genera ganancias en términos de VAN, lo que justifica la ejecución de este.
- PAYBACK: El plazo necesario para recuperar la inversión inicial es de un año a partir de la puesta en marcha del proyecto. Lo mismo ocurre con el periodo de reinversión. Este periodo es bastante corto, ubicándose en el contexto de las empresas mineras.

5. Conclusiones

Tras finalizar el desarrollo del proyecto de mejora de los sistemas tensores de las correas transportadoras de la línea crítica analizadas, es posible concluir que:

- El análisis de la condición actual de los sistemas tensores por contrapeso de las correas transportadoras analizadas, arrojó varias vulnerabilidades que se deben considerar y corregir. Dentro de estas vulnerabilidades, se encuentran: protecciones caídas o en mal estado, desalineamiento del carro tensor, daños estructurales, alto grado de contaminación en el sector en que se ubican y planchas del contrapeso distintas entre sí.
- Las correas transportadoras actualmente no presentan peligro de fallas relacionadas con la tensión con la que se encuentran trabajando, lo que se aprecia en los factores de seguridad calculados que son mayores a 10, valor mínimo que pide el estándar de la empresa.
- Analizando las potencias requeridas para un correcto funcionamiento de las correas transportadoras, se determinó que los motores de las correas CV-110 y CV-112 entregan una potencia menor a la requerida por el sistema, por lo que se encuentran trabajando en una condición que puede dañar ambos motores.
- Los contrapesos de las correas CV-110, CV-112, CV-113 y CV-114 ejercen un peso menor a la tensión que requieren dichas correas, cuando la cinta presenta una flecha de un 1[%], lo que puede provocar fallas asociadas a una baja tensión de la cinta. Es recomendable aumentar el número de placas, con el fin de evitar dichas fallas.
- Desde el punto de vista operacional, en base al análisis de detenciones realizado en las correas transportadoras, es posible asegurar que los sistemas tensores por contrapeso no dan origen a las causas raíces de dichas detenciones o fallas, ni constituyen parte de los equipos críticos de las correas transportadoras.
- Si bien se utilizó el principio 80/20 de Pareto en el análisis de detenciones, aquellas que componen el 20% restante son alta criticidad para una empresa del tamaño que posee Codelco, por lo que no se debe dejar de lado el tratamiento de dichas detenciones y sus causas raíces.
- Los sistemas tensores analizados, son parte de los equipos que se les hace mantención por condición, razón por la cual sus pautas de inspección y mantenimiento son iguales. Además, al ser equipos que no se consideran críticos, sus pautas son básicas y presentan falencias que no se han tomado en cuenta, como por ejemplo las diferentes condiciones ambientales de trabajo. Es por este motivo, que fue necesario mejorar sus pautas de inspección y mantenimiento, haciendo hincapié en la inspección del cable de acero, elemento crítico del contrapeso.
- Bajo la perspectiva de los mantenimientos que se realizan en las correas transportadoras, el sistema tensor por contrapeso tiene el papel fundamental cuando se requiere el destensado y tensado de la cinta, maniobra que actualmente se realiza

con grúas y tiene una duración total de 3 horas. Además, la maniobra actual constituye un riesgo para la seguridad de los trabajadores que deben estar sobre y bajo el contrapeso. Por estas razones, es que se plantea el proyecto de mejora para los sistemas tensores, que se desarrolló en el presente informe.

- Desde el punto de vista técnico, el sistema auxiliar tensor no presenta complicación alguna, ya que se cuenta con el espacio necesario para su emplazamiento, puntos de alimentación de energía eléctrica, proveedores para los componentes del sistema y la mano de obra requerida para su armado, acondicionamiento y puesta en servicio.
- Por otra parte, el análisis económico del proyecto arrojó, según los indicadores obtenidos del flujo de caja, que el proyecto es rentable, de alto rendimiento económico y de gran impacto económico positivo para la empresa.

6. Referencias

- [1] CODELCO. La Corporación [consulta en línea] <http://www.codelco.com/la-corporacion/prontus_codelco/2011-06-21/164601.html> [consulta: 15 febrero 2016].
- [2] CODELCO. Misión [consulta en línea] <https://www.codelco.com/mision/prontus_codelco/2011-02-25/170948.html> [consulta: 15 febrero 2016].
- [3] CODELCO. Memoria Anual 2012, Perfil Corporativo [consulta en línea] <https://www.codelco.com/perfil-corporativo/memoria2012/2013-04-16/141427.html#vtxt_cuerpo_T10> [consulta: 15 febrero 2016].
- [4] CODELCO. Radomiro Tomic, Nosotros [consulta en línea] <https://www.codelco.com/nosotros/prontus_codelco/2011-08-02/193239.html> [consulta: 15 febrero 2016].
- [5] COMISIÓN Regional del Medio Ambiente de la II Región de Antofagasta. Califica Ambientalmente el proyecto “Extracción y Movimiento de Minerales Mina Radomiro Tomic Quinquenio 2008-2012”. Antofagasta, 2008. 29 páginas.
- [6] BARRIENTOS Weston, Francisco. Aumento capacidad transporte de mineral al chancado terciario. Codelco Norte, Radomiro Tomic. Memoria (Ingeniero Civil Mecánico). La Serena. Universidad de La Serena, Departamento de Ingeniería Mecánica, 2008. 174 páginas.
- [7] BLANCO, Emilio. Bloque III- Capítulo 12. Cintas Transportadoras [consulta en línea] Cantabria, España, Universidad de Cantabria <<http://ocw.unican.es/enseanzas-tecnicas/tecnologia-mineralurgica/materiales-de-clase-1/>> [consulta: 16 febrero 2016].
- [8] CODELCO, División Codelco Norte, Superintendencia Operaciones y Mantenimiento Mecánica Chancado - Manejo de Materiales. Informativo Técnico Superintendencia Chancado y Manejo de Materiales [diapositivas Power Point]. Calama, Chile. 2009. 16 diapositivas.
- [9] TECNIPAK. Correas transportadoras [consulta en línea] <https://www.mineria.tecnipak.com/subcategorias/Correas_transportadoras.html> [consulta: 29 febrero 2016].
- [10] SALINERO Gervaso, D. Mario. Diseño de una banda transportadora mediante guide de Matlab. Proyecto Fin de Carrera (Ingeniero Industrial). Madrid. Universidad Carlos III de Madrid, Escuela Politécnica Superior, 2013. 199 páginas.

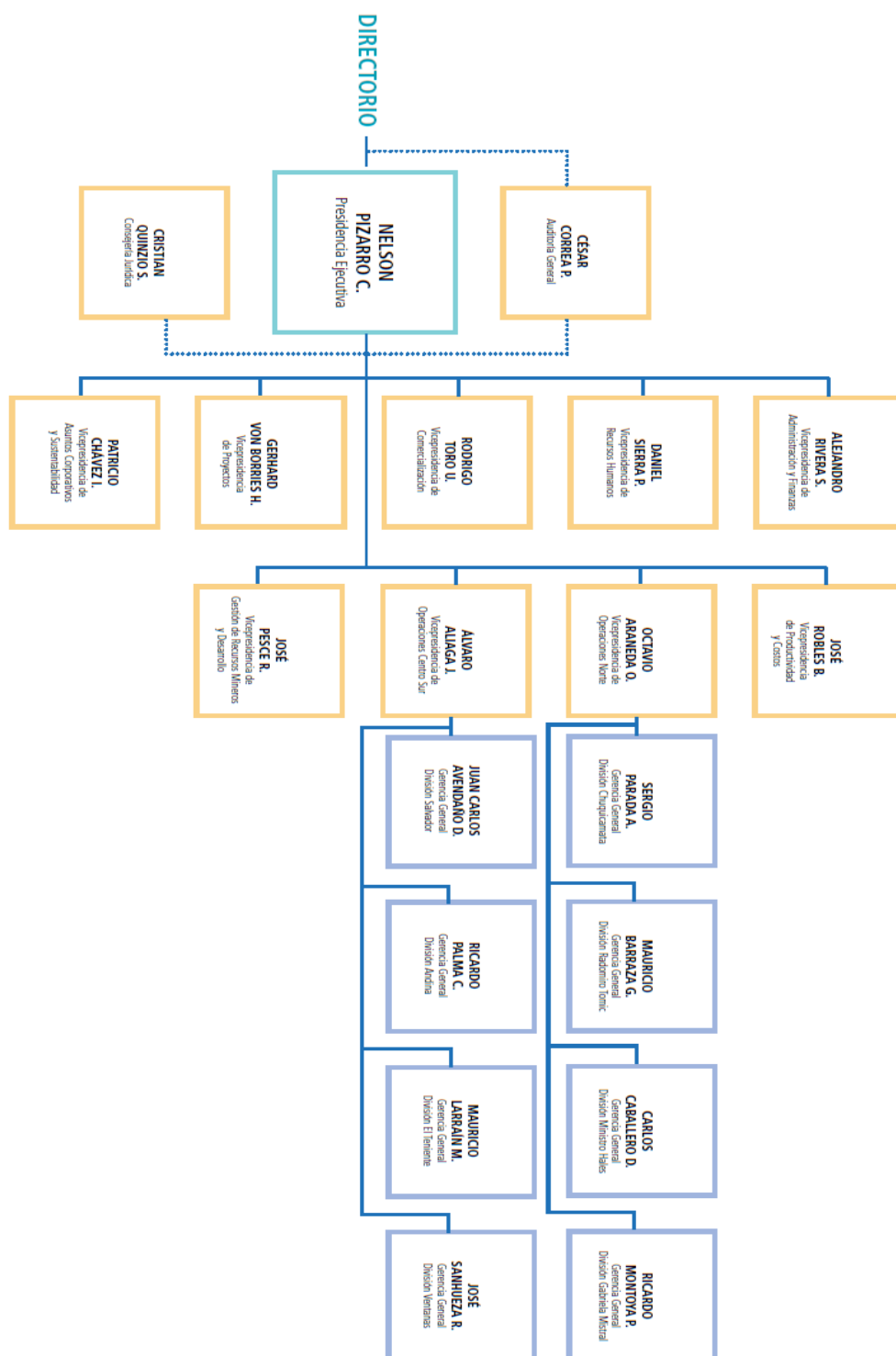
- [11] ROTRANS S.A. Cintas transportadoras, esquema [consulta en línea] <<http://rotranssa.com> > [consulta: 29 febrero 2016].
- [12] CONSULTORES, Desarrollo Industrial. “Mejoramiento condiciones planta de chancado en mina RT”. Diagnostico Mecánico Correas 112, 113 y 114, Documento N°IR-ING-1118-01. Calama, Chile. Codelco Chile, 2011. 14 páginas.
- [13] OCANDO Darío. Capitulo seis: Tensión de la cinta, potencia e ingeniería del accionamiento. En su: Manual CEMA, traducción al español de los capítulos del 1 al 13. Páginas 73-200.
- [14] CONTITECH Conveyor Belt Group. Manual de Ingeniería Bandas Transportadoras. Hannover, Alemania. 44 páginas.
- [15] GERMANBELT. Productos, Bandas transportadoras [consulta en línea] <<http://www.germanbelt.com/es/productos/bandas-transportadoras/bandas-transportadoras-de-cables-de-acero.html>> [consulta: 10 marzo 2016].
- [15] VULCABAN. [Consulta en línea] <<http://www.vulcaban.com>> [consulta: 14 marzo 2016].
- [16] RIVET – Equipos para transporte y clasificación de minerales. [Consulta en línea] <<http://rivet.cl>> [consulta: 14 marzo 2016].
- [17] JOYGLOBAL. [Consulta en línea] <<http://www.joyglobal.com>> [consulta: 14 marzo 2016].
- [18] CODELCOEDUCA. Escolares, Extracción. [Consulta en línea] <https://www.codelcoeduca.cl/procesos_productivos/escolares_extraccion_equipos_asociadostransporte.asp> [consulta: 14 marzo 2016].
- [19] DUNLOP. 11. Design. En su: Conveyor Belt Technique Design and Calculation. PP 35-51.
- [20] POE, Jeff. Wire Rope Sheave Friction Effects on the Take up Carriage Belt Tension. Pella, Iowa. Precision Pulley Inc. 5 páginas.
- [21] CONSULTORES LTDA Desarrollo Industrial. Modificación Contrapeso y Guías Contrapeso Correa 112, 113 y 114, Diseño – Detalles. [Plano]. Calama. 2012.
- [22] CODELCO. Memoria Anual 2015, Organización, Organigrama a marzo de 2016. Santiago, Chile. 2016. 296 páginas.

- [23] ELECTRO INDUSTRIA. El efecto de la altura en la eficiencia de un motor eléctrico. [Consulta en línea] <<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1316>> [consulta: 14 marzo 2016].
- [24] CODELCO RADOMIRO TOMIC. Inspección Transportador CV-110, Área Chancado Secundario, Mecánico. [Planilla Excel].Calama, Chile. 2015.
- [25] CODELCO RADOMIRO TOMIC. Mantenimiento Transportador CV-110, Área Chancado Secundario, Mecánico. [Planilla Excel].Calama, Chile. 2015.
- [26] MARTEX INTERNATIONAL SALES. Cabrestantes-Winches. [Consulta en línea] <<http://www.martexis.com/p-10395-Cabrestantes-Winches>> [consulta: 21 agosto 2016].
- [27] PRO WINCH. [Consulta en línea] <<http://prowinch.cl/>> [consulta: 29 agosto 2016].
- [28] INDUSTRIAS M&R LTDA. [Consulta en línea] <<http://www.industriamyr.cl/>> [consulta: 29 agosto 2016].
- [29] KÚPFER. [Consulta en línea] <<http://www.kupfer.cl>> [consulta: 29 agosto 2016].
- [30] LEGRAND. [Consulta en línea] <<http://www.legrand.cl/>> [consulta: 29 agosto 2016].
- [31] EASY. [Consulta en línea] <<http://www.easy.cl/es/easy-chile/electricidad/placas-tomas-y-volantes/enchufes-con-tierra/>> [consulta: 29 agosto 2016].
- [32] INCABLE. [Consulta en línea] <<http://www.incable.com/>> [consulta: 29 agosto 2016].
- [33] VITEL ENERGIA. [Consulta en línea] < <http://www.vitel.cl/>> [consulta: 29 agosto 2016].
- [34] EL MADERAL. [Consulta en línea] < <http://www.elmaderal.cl/>> [consulta: 29 agosto 2016].
- [35] SYSTEP. Precios SING, Reporte Mensual Sector Eléctrico. [Planilla Excel]. Norte de Chile. Agosto 2016.
- [36] GORILA. [Consulta en línea] <<http://www.cadenasparanieve.cl/>> [consulta: 29 agosto 2016].
- [37] FERRETERÍA O'HIGGINS. [Consulta en línea] <<http://www.fo.cl/tienda/catalogo/>> [consulta: 29 agosto 2016].

- [38] CODELCO RADOMIRO TOMIC, Gerencia Administración. Informe Mensual de Gestión Operacional julio 2016. Calama, Chile. 2016. 97 páginas.
- [39] COCHILCO, Ministerio de Minería. [Consulta en línea] <<http://www.cochilco.cl/>> [consulta: 29 agosto 2016].
- [40] INDICADORES CHILE. [Consulta en línea] <<http://www.indicadoreschile.com/dolar-a-peso-chileno.html>> [consulta: 29 agosto 2016].
- [41] SERVICIO DE IMPUESTOS INTERNOS. [Consulta en línea] <<http://www.sii.cl/>> [consulta: 29 agosto 2016].

7. Anexos

Anexo 1. Organigrama de Codelco [22]



Anexo 2. Descripción de Equipos Chancado Secundario [8]

Parámetro de programación	Planta Chancado Secundario
Tratamiento máximo de mineral [tph]	9.800
Tratamiento de mineral Operacional [tph]	8278
Utilización [%]	80
Tamaño de alimentación [mm]	100% - 356
Humedad del mineral [%]	3,5
Tamaño del producto [mm]	100% - 83
Setting tamaño del producto [mm]	43

Stock Pile Secundario	
Capacidad [ton vivas]	80.000

Alimentador Secundario (FE 103-109)	
Largo correa [m]	8
Ancho correa [pulg]	72
Capacidad [tph]	1.400
Motor	Hidráulico (Marathon)
Tipo de tensor	Manual con cilindros hidráulicos
Velocidad [m/s]	0 - 0,3
Proveedor	Conveyor Engineering

Correa Recuperadora Secundario (CV102-108)	
Largo correa [m]	163
Ancho correa [pulg]	54
Tipo de cinta	EP (Poliéster)
Capacidad [tph]	1.400
Velocidad [m/s]	0 - 1,61
Potencia[HP]	200
Proveedor	FMC

Harnero Secundario Nordberg	
Tamaño [ft²]	8 x 24 Doble parrilla (Banana)
Capacidad [tph]	1.500
Potencia [HP]	60
Abertura superior[pulg²]	3 x 4 Poliuretano
Abertura inferior [pulg²]	1 1/2 x 2 Poliuretano

Chancador Secundario Symond (CR 103-109 Excepto 105)	
Tipo	Hidro Cono
Capacidad [tph]	1.150
Potencia [HP]	500
Transmisión	Correa en "V"

Chancador Secundario Sandvik (CR-105)	
Tipo	Hidro Cono
Capacidad [tph]	1.100
Potencia [HP]	600
Transmisión	Motor con Acoplamiento Rígido

Correa CV-110	
Largo [m]	163
Ancho [pulg]	72
Tipo	EP (Poliéster Nylon)
Capacidad [tph]	6.600
Velocidad [m/s]	3,83
Potencia [HP]	350
Proveedor	FMC

Correa CV-111	
Largo [m]	169
Ancho [pulg]	72
Tipo	EP (Poliéster Nylon)
Capacidad [tph]	8.330
Velocidad [m/s]	4,36
Potencia [HP]	500
Proveedor	FMC

Anexo 3. Descripción de Equipos Chancado Terciario [8]

Parámetro de programación	Planta Chancado Terciario
Tratamiento máximo de mineral [tph]	8.041
Tratamiento de mineral Operacional [tph]	6.793
Utilización [%]	80
Tamaño de alimentación [mm]	100% - 83
Humedad del mineral [%]	3,5
Tamaño del producto [mm]	100% -38 ; 84% -25,4
Setting tamaño del producto [mm]	20

Correa CV-119	
Largo [m]	141,2
Ancho [pulg]	84
Tipo	EP (Poliéster Nylon)
Capacidad [tph]	8.041
Velocidad [m/s]	3,28
Potencia [HP]	600 x 2
Proveedor	EDYCE

Correa CV-120 c/ Tripper	
Largo [m]	224,2
Ancho [pulg]	84
Tipo	EP (Poliéster Nylon)
Capacidad [tph]	8.041
Velocidad [m/s]	3,28
Potencia [HP]	600 x 2
Proveedor	EDYCE

Stock Pile Terciario	
Capacidad [ton vivas]	40.000

Alimentador Terciario (FE 121-125)	
Largo correa [m]	11
Ancho correa [pulg]	54
Capacidad [tph]	1.650
Motor	Hidráulico (Marathon)
Velocidad [m/s]	0 - 0,4
Proveedor	FMC

Correa Recuperadora Terciario (CV121-125)	
Largo correa [m]	141,8
Ancho correa [pulg]	54
Tipo de cinta	EP (Poliéster Nylon)
Capacidad [tph]	1.650
Velocidad [m/s]	0 - 1,68
Potencia[HP]	260
Proveedor	EDYCE

Harnero Terciario Nordberg (SC 121-125)	
Tamaño [ft²]	10 x 24 Parrilla simple (Banana)
Capacidad [tph]	1.608
Potencia [HP]	75

Chancador Terciario Sandvik	
Tipo	Hidro Cono H-8000
Capacidad [tph]	891
Potencia [HP]	800
Transmisión	Directa

Correa CV-131	
Largo [m]	208,1
Ancho [pulg]	72
Tipo	EP (Poliéster Nylon)
Capacidad [tph]	4.500
Velocidad [m/s]	2,61
Potencia [HP]	600
Variador de frecuencia	Partida suave
Proveedor	EDYCE

Correa CV-132	
Largo [m]	206,1
Ancho [pulg]	72
Tipo	EP (Poliéster Nylon)
Capacidad [tph]	4.500
Velocidad [m/s]	2,61
Potencia [HP]	300
Proveedor	EDYCE

Anexo 4. Descripción de Equipos Área Curado de Mineral. [8]

Correa CV-112	
Largo [m]	118
Ancho [pulg]	84
Tipo	EP (Poliéster Nylon)
Capacidad [tph]	10.500
Velocidad [m/s]	4,3
Potencia [HP]	350
Proveedor	FMC

Correa CV-113	
Largo [m]	55
Ancho [pulg]	84
Tipo	EP (Poliéster Nylon)
Capacidad [tph]	10.500
Velocidad [m/s]	4,3
Potencia [HP]	350
Proveedor	FMC

Correa CV-114	
Largo [m]	56
Ancho [pulg]	84
Tipo	EP (Poliéster Nylon)
Capacidad [tph]	10.500
Velocidad [m/s]	4,3
Potencia [HP]	350
Proveedor	FMC

Anexo 5. Descripción de Equipos Área Apilamiento de Mineral. [8]

Parámetro de programación	Apilamiento de mineral
Tratamiento máximo de mineral [tph]	10.500
Tratamiento de mineral Operacional [tph]	8.632
Utilización [%]	80
Tamaño de alimentación [mm]	100% - 25,4 a 12,7
Humedad del mineral [%]	5
Consumo de agua [kg/ton mineral]	36
Consumo de ácido [kg/ton mineral]	6,24

Correa CV-201	
Largo [m]	2.835
Ancho [pulg]	64
Tipo	Correa de Acero
Capacidad [tph]	10.500
Velocidad [m/s]	6,7
Potencia [HP]	4 x 1.340
Proveedor	Man – Takraf

Apilador	
Capacidad teórica [tph]	10.500
Correa CV – 202	
Largo correa [m]	400
Ancho [pulg]	72
Tipo correa	EP (Poliéster Nylon)
Velocidad [m/s]	5,45
Potencia [HP]	4 x 1.340
Correa CV – 203	
Largo correa [m]	16
Ancho [pulg]	72
Tipo correa	EP (Poliéster Nylon)
Velocidad [m/s]	5,45
Potencia [HP]	300

Anexo 6. Descripción de Equipos Remoción y Apilamiento de Ripio. [8]

Parámetro de programación	Tratamiento de ripios
Tratamiento máximo de mineral [tph]	11.500
Tratamiento de mineral Operacional [tph]	10.500
Utilización [%]	70
Tamaño de alimentación [mm]	100% - 25,4 a 12,7

Rotopala HR 7100	
Capacidad de diseño [ton/h]	11.500
Capacidad nominal [ton/h]	10.770
Número de capachos	12
Diámetro rueda de capachos [m]	15
Potencia [kW]	710
Traslación	3 orugas
Sistema accionamiento de la rueda	Electromecánico "Motor-Reductor"
Correa BM-203	
Ancho [mm]	2.200

Correa CV-205	
Largo [m]	2.181
Ancho [pulg]	64
Capacidad teórica [tph]	11.500
Velocidad [m/s]	6,7
Potencia [HP]	4 x 1.340

Correa CV-206	
Largo [m]	2.950
Ancho [pulg]	64
Capacidad teórica [tph]	11.500
Velocidad [m/s]	6,7
Potencia [HP]	4 x 1.340

Spreader	
Capacidad teórica [tph]	11500
Altura de descarga [m]	26,5
Velocidad de viaje [m/min]	6
Radio de curvas pequeña [m]	15
Ángulo Giro Pluma [°]	210
Correa Intermedia CV-207 A	
Ancho [mm]	1800
Velocidad [m/s]	5,45
Potencia [HP]	2 x 670
Correa Descarga CV-207 B	
Ancho [mm]	1800
Velocidad [m/s]	7,2
Potencia [HP]	2 x 600

Anexo 7. Pauta de Inspección Sistema Tensor CV-110 y CV-111.

INSPECTOR:

FECHA:

OT PM:

Cable de acero, grilletes y roldanas			
Condición	Si	No	Observación
Cables presentan desgaste o daño superficial.			
Cables presentan señales de aplastamiento o deformación.			
Existen hebras del cable cortadas.			
Se visualiza el alma del cable.			
Cable en zona de roldanas presenta daños.			
Prensa cable se encuentra en buen estado.			
Grilletes se encuentran en buen estado.			
Grilletes tienen el pasador correspondiente y en buen estado.			
Roldanas se encuentran en buen estado.			
Roldanas están correctamente posicionadas.			
Torre de contrapeso y contrapeso			
Condición	Si	No	Observación
Torre de contrapeso presenta daños estructurales o deformaciones.			
Pernos se encuentran en buen estado y sin soldadura.			
Uniones soldadas presentan fisuras u otros tipos de daño.			
Guías del contrapeso presentan deformación u otro tipo de daño.			
Tubulares guía de la torre de contrapeso presentan deformación o deflexión.			
Cajón del contrapeso se encuentra en buen estado.			
Orejas de fijación para los grilletes presentan daños o deformaciones.			
Contrapeso se encuentra nivelado.			
Protecciones metálicas se encuentran correctamente instaladas.			
Carro tensor y rieles			
Condición	Si	No	Observación
Carro tensor presenta deformaciones o fisuras.			
Carro tensor está alineado.			
Rieles del carro tensor presentan fisuras o deformaciones.			

JEFE TURNO MECÁNICO

INSPECTOR MECÁNICO

Anexo 8. Pauta de Inspección Sistema Tensor CV-112, CV-113 y CV-114.

INSPECTOR:

FECHA:

OT PM:

Cable de acero, grilletes y roldanas			
Condición	Si	No	Observación
Cables presentan desgaste o daño superficial.			
Cables presentan señales de aplastamiento o deformación.			
Existen hebras del cable cortadas.			
Se visualiza el alma del cable.			
Cable en zona de roldanas presenta daños.			
Cable presenta estado de corrosión por ácido u oxidación.			
Prensa cable se encuentra en buen estado.			
Grilletes se encuentran en buen estado.			
Grilletes tienen el pasador correspondiente y en buen estado.			
Roldanas se encuentran en buen estado.			
Roldanas están correctamente posicionadas.			
Roldanas presentan estado de corrosión por ácido u oxidación.			
Torre de contrapeso y contrapeso			
Condición	Si	No	Observación
Torre de contrapeso presenta daños estructurales o deformaciones.			
Torre presenta daños estructurales por corrosión por ácido u oxidación.			
Pernos se encuentran en buen estado y sin soldadura.			
Pernos se encuentran corroídos por ácido u oxidados.			
Uniones soldadas presentan fisuras u otro tipo de daño.			
Guías del contrapeso presentan deformación u otro tipo de daño.			
Guías del contrapeso presentan estado de corrosión por ácido u oxidación.			
Cajón del contrapeso se encuentra en buen estado estructural.			
Orejas de fijación para los grilletes presentan daños o deformaciones.			
Contrapeso se encuentra nivelado.			
Protecciones metálicas se encuentran correctamente instaladas.			
Carro tensor y rieles			
Condición	Si	No	Observación
Carro tensor presenta deformaciones o fisuras.			
Carro tensor está alineado.			
Carro tensor presenta daños por corrosión por ácido u oxidación.			
Rieles del carro tensor presentan fisuras o deformaciones.			
Rieles presentan daños por corrosión por ácido u oxidación.			

JEFE TURNO MECÁNICO

INSPECTOR MECÁNICO

Anexo 9. Pauta de Mantenimiento Sistema Tensor CV110, CV-111, CV-112, CV-113 y CV-114.

FECHA:

OT PM:

Instrucción inicial: Realizar una inspección previa de los sistemas tensores, utilizando la pauta de inspección correspondiente al equipo y luego continuar con la presente pauta de mantenimiento, donde se indica la acción a realizar según las condiciones encontradas en terreno.

INSPECCIÓN DEL CABLE

Los pasos a seguir para la revisión del estado de los cables, son los siguientes:

- Medir el diámetro del cable instalado en varios puntos del cable, utilizando un pie de metro, tal como se muestra en la Figura 2.
- Medir el diámetro del cable instalado en la entrada y salida de las roldanas de la misma forma que el punto anterior.
- Comparar los valores de diámetros medidos con el de un cable nuevo. En caso que el diámetro del cable instalado sea menor, se debe realizar el cambio de cable.

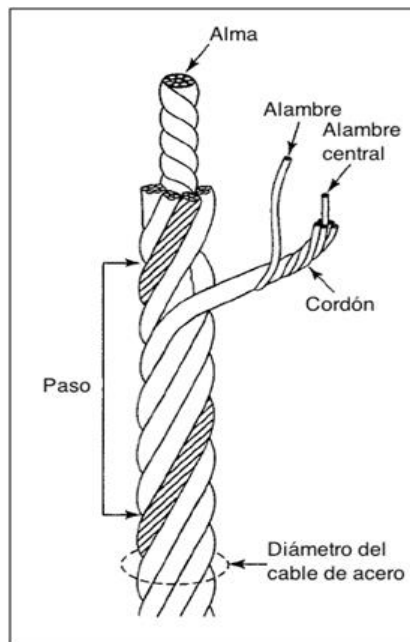


Figura A: Partes de un cable de acero.

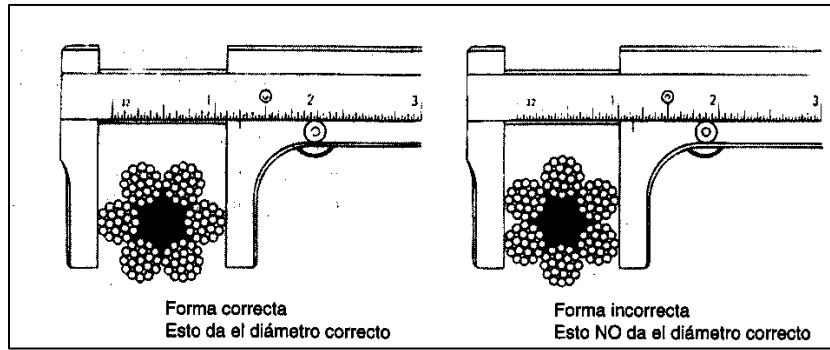


Figura B: Medición del diámetro del cable.

- Medir el paso del cable instalado (ver la Figura A) utilizando un pie de metro en los mismos puntos donde se midió el diámetro del cable.
- Comparar el paso del cable instalado con el de un cable nuevo. En caso que el paso del cable instalado sea mayor que el de uno nuevo y el diámetro sea menor, se debe cambiar el cable.
- Realizar inspección visual del cable y ubicar zonas donde se presencie cortes del cable. La Tabla 1 muestra la cantidad de alambres mínima que deben estar cortados para que se deba reemplazar el cable.
- Realizar inspección visual del cable, verificando que no exista presencia de corrosión u óxido. En caso que exista una zona afectada muy grande, se debe realizar el cambio del cable, en caso contrario se debe lubricar con aceite anticorrosiva.

Tabla A: Cantidad de alambres cortados permisibles.

ASME	EQUIPO	Nro. de alambres rotos en cables en movimiento		Nro. de alambres rotos en cables estáticos	
		En un paso	En un cordón	En un paso	En un cordón
B 30.2	Puente grúa y grúas pórtico	12	4	NA	NA
B 30.3	Grúas torre	12	4	NA	NA
B 30.4	Grúas pórtico y de pedestal	6	3	3	2
B 30.5	Grúas móviles, sobre orugas o sobre vías férreas	6	3	3	2
B 30.6	Derricks	6	3	3	2
B 30.7	Tambores de elevación montado sobre base	6	3	3	2
B 30.8	Grúas flotantes y derricks	6	3	3	2
B 30.9	Eslingas de acero	10	5	NA	NA
B 30.16	Aparejos suspendidos	12	4	NA	NA

INSPECCIÓN DE ROLDANAS Y OTRAS ESTRUCTURAS

- Realizar inspección visual y táctil de la roldana, verificando que no exista desgaste ni bordes que puedan dañar el cable.
- Verificar el desgaste del rodamiento de las roldanas.
- En caso que se presenten daños mayores en la roldana, se debe cambiar.
- Verificar que la roldana se encuentre alineada y centrada con el cable.
- Inspeccionar el estado de prensa cable, pasadores y grilletes. En caso que se presenten daños, se debe cambiar el componente.

- Inspeccionar la estructura de la torre de contrapeso, buscando la presencia de abolladuras, fisuras, oxidación o corrosión. En caso que exista una condición que pueda afectar el funcionamiento, se debe evaluar para realizar el cambio de las piezas afectadas.
- Inspeccionar los rieles del carro tensor, buscando presencia de abolladuras, fisuras, desalineamiento, oxidación o corrosión. En caso que se presente una condición que pueda afectar el desplazamiento del carro tensor, se debe evaluar para realizar cambio de los rieles.
- Inspeccionar el estado del carro tensor y reparar en caso de encontrar daños estructurales.

RESUMEN DE TOMA DE DECISIONES

Cable de acero, grilletes y roldanas		
Actividad	Condición crítica	Acción a realizar
Medir el diámetro de los cables en varios puntos y comparar con el diámetro del cable nuevo.	Diámetro medido es menor al diámetro del cable nuevo.	Cambiar el cable por uno nuevo.
Medir el paso de cable en varios puntos y comparar con el paso del cable nuevo.	Paso mayor al del cable nuevo y diámetro menor al del cable nuevo.	Cambiar el cable por uno nuevo.
Revisar superficie del cable, verificando que no presente desgaste.	Torón cortado, daño en el alma del cable.	Cambiar el cable por uno nuevo.
Revisar superficie del cable, verificando que no exista presencia de corrosión.	Cable se encuentra corroído.	Lubricar cable con aceite anticorrosivo. En caso que sea muy grande la zona afectada, cambiar el cable por uno nuevo.
Revisar el estado de prensa cable, grilletes, pasadores y roldanas.	Componente en mal estado.	Cambiar el componente por uno nuevo.
Revisar el asentamiento de las roldanas.	Desgaste del canal visible y excesivo.	Cambiar la roldana.
Lubricar pasadores de las roldanas.	-	-

Torre de contrapeso y contrapeso		
Actividad	Condición crítica	Acción a realizar
Revisar estructura de la torre de contrapeso.	Presencia de fisuras.	Reparar con soldadura.
Revisar uniones soldadas.	Presencia de fisuras o grietas.	Limpiar y reparar con soldadura.
Revisar el estado de los pernos.	Perno rodado, faltante o dañado.	Cambiar por perno nuevo.

Carro tensor y rieles		
Actividad	Condición crítica	Acción a realizar
Revisar estado del carro tensor.	Presencia de fisuras.	Reparar con soldadura.
Revisar estado de rieles.	Deformación, fisuras u otro daño estructural.	Cambiar los rieles.
Lubricar bujes de las ruedas del carro tensor.	-	-

JEFE TURNO MECÁNICO

INSPECTOR MECÁNICO