UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica

Influencia de la automatización de los procesos de detención de las fajas transportadoras en el tiempo de operaciones mineras

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico

Autores:

Bach. Alva Ardiles, Gianella Luz Mery
Bach. Favian Alfaro, Bryan José Luis

Asesor:

Ms. Ríos Noriega, Fredesbildo Fidel
DNI. N° 32958274
Código ORCID: 0009-0007-9192-360X

Nuevo Chimbote - Perú
2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

HOJA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

El presente informe de tesis titulado:

"Influencia de la automatización de los procesos de detención de las fajas transportadoras en el tiempo de operaciones mineras", elaborado por los bachilleres:

ALVA ARDILES, GIANELLA LUZ MERY

FAVIAN ALFARO, BRYAN JOSÉ LUIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico, ha constado con el asesoramiento de quien deja constancia de su aprobación. Por tal motivo, firmo el presente trabajo en calidad de asesor.

Ms. Ríos Noriega, Fredesbildo Fidel
Código ORCID: 0009-0007-9192-360X
DNI: 32958274
Asesor

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

HOJA DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR

El presente informe de tesis titulado:

"Influencia de la automatización de los procesos de detención de las fajas transportadoras en el tiempo de operaciones mineras", elaborado por los bachilleres:

ALVA ARDILES, GIANELLA LUZ MERY

FAVIAN ALFARO, BRYAN JOSÉ LUIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico, fue revisado y aprobado por el siguiente jurado evaluador:

Dr. Quillos Ruiz, Serapio Agapito
Código ORCID: 0000-0002-4498-0034
DNI: 08597503
Presidente

Ms. Ríos Noriega, Fredesbildo Fidel
Código ORCID: 0009-0007-9192-360X
DNI: 32958274
Integrante

Msc. Escalante Espinoza, Nelver Javier
Código ORCID: 0000-0001-8586-3021
DNI: 32763819
Secretario

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA MECÁNICA
epim@uns.edu.pe

ACTA DE EVALUACIÓN PARA SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

El día 25 del mes de setiembre del año dos mil veintiséis, siendo las 10:00 a.m. En el Laboratorio de Uso Múltiples de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica-FI-UNS, en concordancia a la Resolución Decanal N° 553-2026-UNS-FI, de expedito, el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N°-810-2025-UNS-CFI, integrado por los docentes: **Dr. Serapio Agapito Quillos Ruiz (Presidente), Msc. Nelver Javier Escalante Espinoza (Secretario), y el Ms. Fredesbildo Fidel Ríos Noriega (Integrante),** dan inicio a la sustentación de la Tesis titulada: **"INFLUENCIA DE LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE DETENCIÓN DE LAS FAJAS TRANSPORTADORAS EN EL TIEMPO DE OPERACIONES MINERAS",** presentado por los bachilleres: **: ALVA ARDILES GIANELLA LUZ MERY, con código de matrícula N°0201516051, Y FAVIAN ALFARO BRYAN JOSÉ LUIS con código de matrícula N°0201516016,** quienes fueron asesorados por el Ms. Fredesbildo Fidel Ríos Noriega, según Resolución Decanal N.º 848-2023-UNS-FI.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General de Grados y Títulos, vigente, declaran aprobar al:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
ALVA ARDILES GIANELLA LUZ MERY	17	BUENO

Siendo las 11:00 a.m. del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, setiembre 25 de 2026

Dr. Serapio Agapito Quillos Ruiz
PRESIDENTE

Msc. Nelver Javier Escalante Espinoza
SECRETARIO

Ms. Fredesbildo Fidel Ríos Noriega
INTEGRANTE

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA MECÁNICA
epim@uns.edu.pe

ACTA DE EVALUACIÓN PARA SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

El día 25 del mes de setiembre del año dos mil veintiséis, siendo las 10:00 a.m. En el Laboratorio de Uso Múltiples de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica-FI-UNS, en concordancia a la Resolución Decanal N° 553-2026-UNS-FI, de expedito, el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N°-810-2025-UNS-CFI, integrado por los docentes: **Dr. Serapio Agapito Quillos Ruiz (Presidente), Msc. Nelver Javier Escalante Espinoza (Secretario), y el Ms. Fredesbildo Fidel Ríos Noriega (Integrante),** dan inicio a la sustentación de la Tesis titulada: **"INFLUENCIA DE LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE DETENCIÓN DE LAS FAJAS TRANSPORTADORAS EN EL TIEMPO DE OPERACIONES MINERAS",** presentado por los bachilleres: **: ALVA ARDILES GIANELLA LUZ MERY, con código de matrícula N°0201516051, Y FAVIAN ALFARO BRYAN JOSÉ LUIS con código de matrícula N°0201516016,** quienes fueron asesorados por el Ms. Fredesbildo Fidel Ríos Noriega, según Resolución Decanal N.º 848-2023-UNS-FI.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General de Grados y Títulos, vigente, declaran aprobar al:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
FAVIAN ALFARO BRYAN JOSÉ LUIS	17	BUENO

Siendo las 11:00 a.m. del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, setiembre 25 de 2026

Dr. Serapio Agapito Quillos Ruiz
PRESIDENTE

Msc. Nelver Javier Escalante Espinoza
SECRETARIO

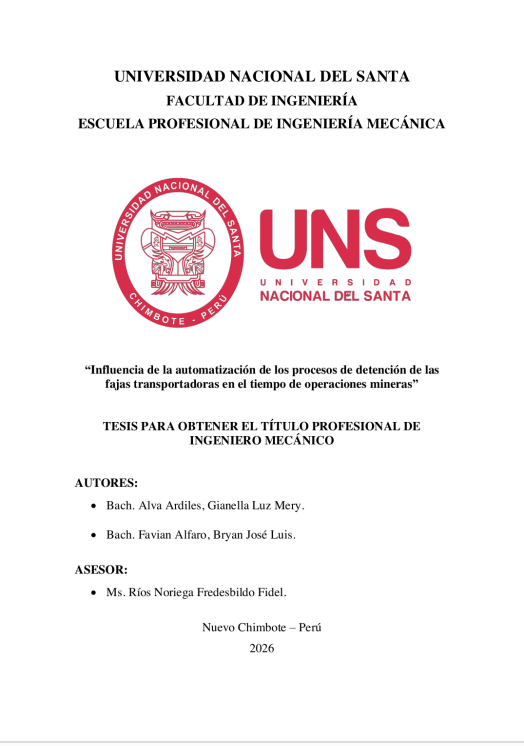
Ms. Fredesbildo Fidel Ríos Noriega
INTEGRANTE

Recibo digital

Este recibo confirma quesu trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	Bryan José Luis Favian Alfaro
Título del ejercicio:	Influencia de la automatización de los procesos de detención ...
Título de la entrega:	Tesis - Alva & Favian v4.2.pdf
Nombre del archivo:	Tesis_-_Alva_Favian_v4.2.pdf
Tamaño del archivo:	8.01M
Total páginas:	173
Total de palabras:	30,041
Total de caracteres:	163,664
Fecha de entrega:	15-oct-2026 10:53a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega:	2680003217



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

UNS
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

"Influencia de la automatización de los procesos de detención de las fajas transportadoras en el tiempo de operaciones mineras"

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO

AUTORES:
- Bach. Alva Ardiles, Gianella Luz Mery.
- Bach. Favian Alfaro, Bryan José Luis.

ASESOR:
- Ms. Ríos Noriega Fredesbildo Fidel.

Nuevo Chimbote – Perú
2026

Derechos de autor 2026 Turnitin. Todos los derechos reservados.

Tesis - Alva & Favian v4.2.pdf

INFORME DE ORIGINALIDAD

3%	3%	1%	1%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%
3	es.scribd.com Fuente de Internet	<1%
4	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	<1%
5	1library.co Fuente de Internet	<1%
6	dbwww.essc.psu.edu Fuente de Internet	<1%
7	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1%
8	docplayer.com.br Fuente de Internet	<1%
9	tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
10	repositorio.unitec.edu.ni Fuente de Internet	<1%
11	Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador Trabajo del estudiante	<1%
12	issuu.com Fuente de Internet	<1%
13	repositorio.ute.edu.ec Fuente de Internet	<1%
14	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
15	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1%

16	www.anef.cl Fuente de Internet	<1 %
17	bloglifetr.com Fuente de Internet	<1 %
18	cybertesis.uni.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	dis.um.es Fuente de Internet	<1 %
20	repository.unipiloto.edu.co:8080 Fuente de Internet	<1 %
21	www.milavicorner.hpg.ig.com.br Fuente de Internet	<1 %
22	oa.upm.es Fuente de Internet	<1 %
23	repositorio.ues.edu.sv Fuente de Internet	<1 %
24	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
25	repositorio.unesum.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
26	www.dspace.espol.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
27	ruc.udc.es Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas	Activo	Excluir coincidencias	< 15 words
Excluir bibliografía	Activo		

Dedicatoria

Dedico esta tesis a Dios, quien me permitió llegar hasta este momento tan especial para obtener unos de mis mayores deseos. A mis padres, por estar siempre conmigo apoyándome en cada una de mis metas por su apoyo, paciencia, comprensión y su amor incondicional a lo largo de mi vida universitaria. A mis hermanas y a todas las personas que siempre estuvieron conmigo dándome consejos para poder seguir adelante por compartirme sus conocimientos y acompañándome en esta esta etapa.

-Alva Ardiles, Gianella Luz Mery.

Dedico esta tesis a Dios, por ponerme a personas que lograron ayudarme a cumplir cada una de mis metas; a mi madre, por sus consejos a hacer de mí una mejor persona y apoyo a poder concluir mi carrera universitaria. A mi familia, que siempre estuvieron a mi lado en los momentos más complicados. A mis amistades, que conocí a lo largo de mis cinco años en mi alma mater Universidad Nacional del Santa, con las que compartí las mejores experiencias de mi juventud.

- Favian Alfaro, Bryan José Luis.

Agradecimiento

La tesis “Influencia de la automatización de los procesos de detención de las fajas transportadoras en el tiempo de operaciones mineras”, fua alcanzada gracias al respaldo y la dedicación de todas las personas que me guiaron, alentaron y corrigieron durante la realización de este estudio.

Expresamos nuestro profundo agradecimiento a nuestros padres, quienes continúan acompañándonos y brindándonos consejos incesantes hasta el día de hoy. También agradecemos a nuestros colegas y profesionales cuya contribución fue fundamental para el éxito de esta tesis, la cual es el fruto de un trabajo de campo constante. Asimismo, reconocemos y agradecemos a todos los docentes de la carrera profesional y a nuestro asesor, el Msc. Fredesbildo Fidel Ríos Noriega, por dedicar su tiempo y compartir constantemente su experiencia y sabiduría.

- *Alva Ardiles, Gianella Luz Mery.*
- *Favian Alfaro, Bryan José Luis.*

Índice

Dedicatoria ..... **viii**
Agradecimiento ..... **ix**
Índice ..... **x**
Índice de tablas ..... **xiii**
Índice de figuras ..... **xv**
Índice de anexos ..... **xviii**
Lista de Abreviaturas ..... **xix**
Resumen ..... **xx**
Abstract ..... **xxi**
I. Introducción **1**
1.1. Antecedentes Internacionales **1**
1.2. Antecedentes nacionales **3**
1.3. Formulación del problema **4**
1.4. Objetivos: **4**
1.4.1. Objetivo general 4
1.4.2. Objetivos específicos 4
1.5. Formulación de la hipótesis **5**
1.6. Justificación e importancia de la investigación **5**
1.7. Limitaciones **7**
II. Marco teórico **8**
2.1. Fajas transportadoras en operaciones mineras: **8**
2.2. FT 3140-CV-002: **8**
2.3. Software NAVISWORKS **16**
2.4. Automatización de los procesos de detención: **16**
2.5. Software SAP 2000 ..... **17**
2.6. Análisis de tiempos operativos en minería **17**
2.7. Indicadores clave de desempeño en operaciones mineras **18**

2.8. Sistemas de detención manual – Riesgos y limitaciones **21**

2.9. Riesgos asociados a la detección manual **22**

2.10. Automatización de los procesos de detención – Tecnologías y beneficios **25**

2.11. Tecnologías clave en la automatización de detención **25**

2.12. Arquitectura **26**

2.13. Estándares y normativas de seguridad industrial **28**

2.14. Normativas de diseño estructural aplicadas. **28**

2.15. Combinaciones de carga según LRFD **28**

2.16. Normativas de seguridad industrial **29**

2.17. Conexión con la automatización **31**

III. Materiales y métodos **32**

3.1. Metodología **32**

3.2. Diseño de investigación **32**

3.3.1. Población y muestra 32

3.3.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 33

3.3.3. Técnicas de análisis de datos 34

3.3.4. Procedimiento: 35

3.4. Desarrollo y cálculos **37**

3.4.1. Identificar el diseño estructural de la FT 3140-CV-002 37

3.4.2. Configuración general de la faja 3140-CV-002 38

3.4.3. Diseño de los enrejados metálicos (ENR.01 a ENR.05) 40

3.4.4. Estimar el tiempo de detención mediante operaciones manuales de las fajas transportadoras 3140-CV-002. 56

3.4.5. Estimar el tiempo de los procesos automatizados de detención de las fajas transportadoras 3140-CV-002. 82

3.4.6. Desarrollo del objetivo específico cuatro (Analizar los tiempos de detención de fajas 3140-CV-002 en operaciones manuales y en procesos automatizados).....100

IV. Resultados y discusiones.....108

V. Conclusiones 137

VI. Referencias.....139

VII. Anexos 142

Índice de tablas

Tabla 1. Carga muerta por equipos principales. *10*

Tabla 2. Tipos de paradas en fajas transportadoras. *20*

Tabla 3. Comparativo de riesgos en sistemas de detención manual vs. Automatizado. *23*

Tabla 4. Sensores de detección de fallas. *26*

Tabla 5. Beneficios de la automatización. *27*

Tabla 6. Principales combinaciones. *28*

Tabla 7. Normativas aplicadas en el diseño y operación de la faja 3140-CV-002. *29*

Tabla 8. Cargas consideradas en el diseño. *30*

Tabla 9. Técnicas e instrumentos utilizados en la investigación. *33*

Tabla 10. Elementos utilizados en la investigación. *39*

Tabla 11. Perfiles usados en la investigación. *41*

Tabla 12. Reacciones globales. *46*

Tabla 13. Reacciones globales. *47*

Tabla 14. Tipo de cargas aplicadas. *48*

Tabla 15. Tipo de combinaciones de carga. *49*

Tabla 16. Relaciones globales en tramo elevado completo. *50*

Tabla 17. Características técnicas generales de la faja 3140-CV-002. *58*

Tabla 18. Secuencia de operaciones para la detención manual de la faja 3140-CV-002. *64*

Tabla 19. Resumen del tiempo de detención manual de la faja 3140-CV-002. *75*

Tabla 20. Matriz de riesgos asociados a la detención manual. *76*

Tabla 21. Factores de utilización máximos por componente. *79*

Tabla 22. Alcance del sistema propuesto. *83*

Tabla 23. Componentes clave del sistema automatizado y su función. *86*

Tabla 24. Tiempos estimados en modo automatizado (fases 1-5). _____*89*

Tabla 25. Factores de utilización máximos por componente (SAP2000).____*91*

Tabla 26. Deformaciones máximas permitidas (SAP2000). _____*94*

Tabla 27. Resultados de simulación de rutas de intervención. _____*95*

Tabla 28. Tiempo total de detención: Manual vs. Automatizado._____*96*

Tabla 29. Comparación del tiempo total de detención (manual y automatizado).____*101*

Tabla 30. Comparación detallada por fases de detención._____*102*

Tabla 31. Tiempo anual de detención._____*104*

Tabla 32. Pérdida económica anual por detención. _____*105*

Tabla 33. Comparación de riesgos operativos. _____*105*

Tabla 34. Características técnicas de la faja 3140-CV-002. _____*108*

Tabla 35. Factores de utilización máximos (SAP2000). _____*110*

Tabla 36. Rutas de intervención y tiempos estimados (Navisworks). _____*112*

Tabla 37. Matriz de riesgos operativos._____*113*

Tabla 38. Componentes del sistema automatizado._____*114*

Tabla 39. Desglose del tiempo de detención manual. _____*118*

Tabla 40. Factores de utilización máximos (SAP2000). _____*120*

Tabla 41. Rutas y tiempos de desplazamiento (Navisworks). _____*120*

Tabla 42. Tiempos estimados de detención automatizada. _____*123*

Tabla 43. Comparación final manual y automatizado. _____*126*

Tabla 44. Comparación detallada de tiempos por fase._____*129*

Tabla 45. Impacto operativo y económica. _____*133*

Índice de figuras

Figura 1. Elementos de la FT 3140-CV-002**.** _____*10*

Figura 2. Carga de Material en operación normal de la faja. _____*12*

Figura 3. Carga máxima de material. _____*12*

Figura 4. Estructura Enrejados, vistas. _____*14*

Figura 5. Distribución de elementos estructurales de la faja 3140-CV-002. _____*15*

Figura 6. Acceso a dispositivos de mantenimiento en la faja 3140-CV-002._____*24*

Figura 7. Diagrama de bloques de un sistema de detención automatizado _____*27*

Figura 8. Identificación de los elementos estructurales de la faja 3140-CV-002._____*38*

Figura 9. Descripción del apoyo deslizante. _____*40*

Figura 10. Geometría: Estructura tridimensional tipo pórtico. _____*42*

Figura 11. Base: Placas base ancladas a cimentación. _____*43*

Figura 12. Configuración: Estructura tipo torre con diagonales. _____*45*

Figura 13. Factor de utilización de los perfiles pertenecientes a enrejado ENR.02 y ENR.03. _____*46*

Figura 14. Gráfico de reacciones estructurales._____*50*

Figura 15. Placa base para mesas tipo. _____*51*

Figura 16. Placa base para columnas. _____*52*

Figura 17. Enrejados ENR.01 (0.89). _____*53*

Figura 18. Columnas EST.01 (0.92)._____*54*

Figura 19. Cepas (0.85). _____*54*

Figura 20. Gráfico del factor de utilización. _____*55*

Figura 21. Planta ENR.03 y ENR.02. _____*59*

Figura 22. Sección AA Enrejados ENR.01, ENR.02 y ENR.03. _____*60*

Figura 23. Placa Base Columnas de apoyo de las poleas deflectoras. _____*60*

Figura 24. Placa Base apoyos vigas carro tensor. _____*61*

Figura 25. Factor de utilización de los perfiles pertenecientes a Estructura poleas deflectoras y carro tensor (EST.01). _____*62*

Figura 26. Factor de utilización de los perfiles pertenecientes a las cepas. _____*62*

Figura 27. Tiempos estimados por fase (1-5). _____*68*

Figura 28. Perfiles y dimensiones de la Torre de Contrapeso (EST.02). _____*69*

Figura 29. Planta ENR.03 y ENR.02. _____*71*

Figura 30. Sección AA Enrejados ENR.01, ENR.02 y ENR.03. _____*71*

Figura 31. Factor de utilización de los perfiles pertenecientes a enrejado ENR.02 y ENR.03. _____*72*

Figura 32. Factor de utilización de los perfiles pertenecientes a mesas tipo. _____*72*

Figura 33. Factor de utilización de los perfiles pertenecientes a mesas de impacto. __*73*

Figura 34. Cepas 1,2 y 3. _____*77*

Figura 35. Distribución de escalerillas – Sección A. _____*78*

Figura 36. Distribución de escalerillas – Sección B. _____*78*

Figura 37. Tiempos estimados con fase. _____*80*

Figura 38. Distribución del tiempo de detención manual. _____*80*

Figura 39. Comparación con estándares industriales. _____*81*

Figura 40. Placa Base Columnas de apoyo de las poleas deflectoras. _____*84*

Figura 41. Placa Base apoyos vigas carro tensor. _____*85*

Figura 42. Sección AA Enrejados ENR.01, ENR.02 y ENR.03. _____*85*

Figura 43. Diagrama de bloques de control y monitoreo. _____*87*

Figura 44. Gráfica de barras comparativa (manual y automatizado). _____*90*

Figura 45. Gráfica de radar – Desempeño por metrica. _____*90*

Figura 46. Factor de utilización de los perfiles pertenecientes a enrejado ENR.02 y ENR.03. _____*92*

Figura 47. Factor de utilización de los perfiles pertenecientes a enrejado ENR.01. ___*92*

Figura 48. Factor de utilización de mesas tipo. _____*93*

Figura 49. Factor de utilización de mesas de impacto. _____*93*

Figura 50. Tiempo de detención (Manual y Automatizado). _____*98*

Figura 51. Distribución del ahorro por fase. _____*99*

Figura 52. Tiempo total de detención. _____*104*

Figura 53. Factor de utilización de enrejados ENR.02 y ENR.03. _____*111*

Figura 54. Factor de utilización de enrejado ENR.01. _____*111*

Figura 55. Placa Base apoyos vigas carro tensor. _____*115*

Figura 56. Tiempo de detención automatizada por fase. _____*124*

Figura 57. Distribución del tiempo de detención automatizada. _____*125*

Figura 58. Evolución del tiempo acumulado en detención automatizada. _____*126*

Figura 59. Comparación de tiempos totales. _____*131*

Figura 60. Ahorro acumulado por fase. _____*131*

Figura 61. Distribución porcentual del tiempo. _____*132*

Índice de anexos

A1. *Plano General de la FT 3140-CV-002*

A2. *Plano General de la FT 3140-CV-002 y planos a detalle de Módulos Estructurales*

A3. *Revisión de Navisworks V1.*

A4. *Revisión de Navisworks V2.*

A5. *Revisión de Navisworks V3.*

A6. *Matriz de registro fotográfico.*

Lista de Abreviaturas

AISC: *American Institute of Steel Construction (Instituto Americano de Construcción en Acero)*

CEMA: *Conveyor Equipment Manufacturers Association (Asociación de Fabricantes de Equipos Transportadores)*

CMMS: *Computerized Maintenance Management System (Sistema Computarizado de Gestión de Mantenimiento)*

EPP: *Equipos de Protección Personal*

FT: *Faja Transportadora*

ISO: *International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización)*

LRFD: *Load and Resistance Factor Design (Diseño por Factores de Carga y Resistencia)*

LOTO: *Lockout / Tagout (Bloqueo y Etiquetado de energías peligrosas)*

MSHA: *Mine Safety and Health Administration (Administración de Seguridad y Salud Minera)*

MTBF: *Mean Time Between Failures (Tiempo Medio Entre Fallas)*

MTTR: *Mean Time To Repair (Tiempo Medio de Reparación)*

OEE: *Overall Equipment Effectiveness (Efectividad Global del Equipo)*

PLC: *Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programable)*

ROI: *Return On Investment (Retorno de Inversión)*

SAG: *Semiautogenous Grinding (Molienda Semiautógena)*

SCADA: *Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos)*

UBC: *Uniform Building Code (Código Uniforme de Construcción)*

Resumen

La industria minera buscó constantemente soluciones innovadoras para optimizar su eficiencia y productividad. En este contexto, la presente investigación evaluó la influencia de la automatización en los procesos de detención de fajas transportadoras y su impacto en los tiempos de mantenimiento. El estudio se centró en la faja transportadora 3140-CV-002 de las operaciones mineras en Quellaveco, comparando cuantitativamente los métodos de detención manual y automatizado.

Bajo un enfoque cuantitativo no experimental con diseño descriptivo y correlacional, se analizaron los tiempos de detención de ambos métodos mediante modelos computacionales y simulaciones. Los resultados evidenciaron que la automatización mejoró el control y la precisión, reduciendo el tiempo promedio de detención en un 73.3% (de 69.5 a 18.77 minutos) y mitigando significativamente la exposición a riesgos laborales. Aunque la implementación requirió una inversión inicial, los beneficios económicos derivados de la menor inactividad operativa superaron ampliamente los costos asociados.

Se concluyó que la automatización de los procesos de detención en fajas transportadoras disminuyó de forma efectiva los tiempos de inactividad, optimizando la disponibilidad y el rendimiento global de las operaciones mineras.

Palabras clave: automatización, fajas transportadoras, procesos de detención, tiempo de mantenimiento, operaciones mineras

Abstract

The mining industry constantly sought innovative solutions to optimize its efficiency and productivity. In this context, this research evaluated the influence of automation on conveyor belt stopping processes and its impact on maintenance times. The study focused on conveyor belt 3140-CV-002 at the Quellaveco mining operations, quantitatively comparing manual and automated stopping methods.

Under a non-experimental quantitative approach with a descriptive and correlational design, stopping times for both methods were analyzed using computational models and simulations. The results evidenced that automation improved control and accuracy, reducing average stopping time by 73.3% (from 69.5 to 18.77 minutes) and significantly mitigating occupational hazard exposure. Although implementation required an initial investment, the economic benefits derived from lower downtime substantially outweighed associated costs.

It was concluded that automating conveyor belt stopping processes effectively decreased downtime, optimizing the availability and overall performance of mining operations.

Keywords: automation, conveyor belts, stopping processes, maintenance time, mining operations, operational safety

I. Introducción

1.1. Antecedentes Internacionales

A nivel internacional, Wang y Liu (2019), investigaron la automatización de los sistemas de diagnóstico de fallas y control de seguridad en sistemas transportadores para reducir los tiempos de inactividad. Su metodología incluyó el uso de sensores de monitoreo de vibración y temperatura, así como algoritmos de inteligencia artificial para la detección temprana de anomalías. Entre los resultados principales, lograron una reducción del 15% en los tiempos de detección y resolución de fallas. La investigación concluye en que la implementación de sistemas de diagnóstico automatizados mejora significativamente la seguridad y eficiencia de las operaciones mineras.

Li et al. (2020), buscaron optimizar el funcionamiento de las fajas transportadoras subterráneas mediante el control predictivo para minimizar las detenciones no programadas. Su metodología se centró en el desarrollo de un modelo predictivo que anticipa posibles fallas basado en datos históricos y en tiempo real, ajustando la velocidad y el rendimiento de la faja. Los resultados principales mostraron una disminución del 10% en el número de detenciones inesperadas y un aumento del 5% en la eficiencia operativa general. Los investigadores concluyeron que el control predictivo es una herramienta eficaz para mejorar la disponibilidad de los sistemas transportadores en entornos mineros.

Zhang y Sun (2018), desarrollaron un sistema inteligente de diagnóstico de fallas para sistemas transportadores mineros con el objetivo de reducir el impacto de las detenciones en la producción. Su metodología implicó la integración de redes neuronales y lógica difusa para analizar datos de sensores e identificar patrones que preceden a las fallas. Entre los resultados principales, el sistema logró una precisión del 92% en la identificación de fallas antes de que ocurrieran, lo que permitió intervenciones proactivas.

Ambos autores concluyeron que los sistemas inteligentes de diagnóstico son cruciales para mantener la continuidad de las operaciones mineras.

Kumar y Singh (2021), estudiaron la automatización de los sistemas de manipulación de materiales, específicamente fajas transportadoras, en minas a cielo abierto para optimizar el flujo de material y reducir las interrupciones. Su metodología incluyó la implementación de sistemas de control centralizados y la automatización de los procesos de arranque y parada de las fajas. Los resultados principales indicaron una mejora del 8% en el rendimiento total del sistema de transporte y una reducción en los tiempos de espera debido a detenciones. El estudio concluyó que la automatización integral de los sistemas transportadores es fundamental para mejorar la productividad en minas a cielo abierto.

Gao y Hou (2017), exploraron la aplicación de PLC y SCADA en los sistemas de control de sistemas transportadores mineros para automatizar las operaciones y minimizar el impacto de las detenciones. Su metodología se basó en el diseño de una arquitectura de control que permitía la supervisión en tiempo real y el control remoto de las fajas. Entre los resultados principales, lograron una respuesta más rápida a las condiciones cambiantes y una disminución del 7% en los tiempos de inactividad no planificados. Gao y Hou concluyeron que la combinación de PLC y SCADA es esencial para la gestión eficiente y segura de las fajas transportadoras en la minería.

1.2. Antecedentes nacionales

A nivel nacional, Mendoza (2018), buscó automatizar una faja transportadora (FT) subterránea de 7 km. Su metodología incluyó tableros de media tensión, variadores de velocidad y PLCs SIMATIC S7-400 con comunicación por fibra óptica, integrados en el sistema SCADA Cemat-Case. Entre los resultados principales, la operación de la faja muestra vibraciones leves, que no afectan el exterior. El autor concluyó que la automatización optimiza el transporte bidireccional de cemento, clinker y otros materiales, mejorando la eficiencia del sistema.

Además, Heredia y Velásquez (2021), buscaron desarrollar un prototipo de automatización usando el controlador SIMATIC S7 1200. Emplearon un diseño experimental y aplicaron tecnología de Siemens en la plataforma TIA Portal V15. Entre los principales resultados, el sistema logró el control y supervisión mediante PROFINET, permitiendo control local y remoto. Heredia y Velásquez concluyeron que el prototipo opera efectivamente, automatizando el transporte de minerales de manera eficiente y confiable.

También, Caipo (2021), buscó diseñar una FT eficiente para el transporte de concentrado de cobre. Empleó estándares de Conveyor Equipment Manufacturers Association y American Institute of Steel Construction para el diseño estructural y mecánico, optimizando el proceso mediante software especializado. Los principales resultados incluyen un sistema de tensado oleohidráulico automático adaptable. Caipo concluyó que el diseño cumple con los estándares, optimizando la resistencia y flexibilidad del sistema de transporte de mineral.

Finalmente, Ramos (2019), buscó diseñar un sistema de parada de emergencia para optimizar la seguridad en el transporte de mineral. Usó sensores Travel Switch para

monitorear el desalineamiento de la faja, integrando un sistema Pull Cord RS/RSB con conexión a través de Junction Boxes. Los resultados principales incluyen la optimización de la seguridad en el proceso de transporte. El investigador concluyó que este sistema puede reducir accidentes y mejorar la protección del personal en operaciones mineras.

1.3. Formulación del problema

¿Cómo influye la automatización de los procesos de detención de las fajas transportadoras en el tiempo de mantenimiento de equipos en operaciones mineras?

1.4. Objetivos:

1.4.1. Objetivo general

- Determinar la influencia de la automatización de los procesos de detención de las fajas transportadoras en el tiempo de mantenimiento de equipos de operaciones mineras.

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar el diseño estructural de la FT 3140-CV-002 de 72” de ancho y 248 m de largo.
- Estimar el tiempo de detención mediante operaciones manuales de las fajas transportadoras 3140-CV-002.
- Estimar el tiempo de los procesos automatizados de detención de las fajas transportadoras 3140-CV-002.
- Analizar los tiempos de detención de fajas 3140-CV-002 en operaciones manuales y en procesos automatizados.

1.5. Formulación de la hipótesis

La automatización de los procesos de detención de las fajas transportadoras 3140-CV-002 de 72” de ancho y 248 m de largo, disminuye los tiempos de mantenimiento operativo.

1.6. Justificación e importancia de la investigación

La industria minera es una de las actividades económicas más importantes del Perú y del mundo, y la eficiencia en sus procesos resulta clave para su sostenibilidad y competitividad. En este contexto, el mantenimiento de los equipos utilizados en las operaciones mineras cumple un rol fundamental para garantizar la continuidad operativa, prolongar la vida útil de los equipos y asegurar su correcto funcionamiento (Mamani, 2021). Sin embargo, el mantenimiento manual puede ser costoso, lento y riesgoso, aumentando la posibilidad de accidentes laborales durante la detención de equipos como los sistemas transportadores (Vallejos & Morales, 2020). Por esta razón, un control automático de los procesos de detención de las fajas transportadoras es una alternativa para mejorar la eficiencia, seguridad y reducción de tiempos de mantenimiento en operaciones mineras (Huayhua, 2025).

La presente investigación se justifica teóricamente, porque contribuirá en profundizar sobre los conocimientos en los tipos de fajas utilizadas en el sector minero, trayendo como caso de estudio la faja 3140-CV-002 de 72” de ancho y 248 m de largo de las operaciones mineras en Quellaveco. Además, se justifica a nivel práctico, porque contribuirá a que otras empresas del sector minero puedan implementar medidas como el funcionamiento autónomo de los procesos involucrados en el desmontaje de las fajas transportadoras, reduciendo así accidentes laborales, y costos económicos en la

paralización de actividades por el mantenimiento de los equipos. Asimismo, la investigación se justifica a nivel económico, porque el proceso de automatización de la detención de sistemas transportadores busca reducir tiempos de operación, lo que se traduce en un costo evitado en la reducción de la jornada de trabajo, por otra parte, reduce los costos en mano de obra y los relacionados con la seguridad de los trabajadores, asegurando procesos, seguros y de alta calidad.

Del mismo modo, la investigación se justifica a nivel metodológico porque contribuirá con nuevos procedimientos que servirán como base para el cálculo de la eficiencia producida entre dos formas de realizar la detención de las fajas transportadoras. Por último, se justifica en lo legal, ya que la implementación de un sistema automatizado de la detención de los sistemas transportadores, proporcionará información técnica y legal que podrá ser dispuesta para cumplir con los requisitos y disposiciones de acuerdo a ley con respecto a las medidas de seguridad implementadas en favor de los trabajadores.

Por tanto, la automatización de los procesos de detención de los sistemas transportadores puede ser una solución viable para mejorar la eficiencia del mantenimiento en operaciones mineras. Esta tesis busca analizar la influencia de la automatización de estos procesos en las ventanas de acondicionamiento o revisión de los equipos en operaciones mineras y proponer soluciones para mejorar la eficiencia del mantenimiento en estas operaciones.

1.7. Limitaciones

- El estudio se limita a una única FT (3140-CV-002), lo que restringe la generalización de los resultados a otras configuraciones o minas.
- La investigación depende de datos secundarios y simulaciones, lo que puede limitar la precisión frente a pruebas reales en campo.
- El enfoque por conveniencia en la muestra reduce el control sobre variables externas que podrían afectar los tiempos de detención.

II. Marco teórico

2.1. Fajas transportadoras en operaciones mineras:

En el sector minero, el traslado eficiente de materiales procesados es un desafío clave. Entre las opciones disponibles en el mercado, las fajas transportadoras son preferidas por las empresas mineras debido a su operatividad y economía, manteniendo altos niveles de productividad. Estos sistemas consisten en una cinta de caucho reforzado que se desplaza entre dos poleas. Ampliamente utilizadas en proyectos de excavación masiva, su correcta aplicación es crucial para garantizar la duración del proyecto. Las fajas transportadoras desempeñan un papel vital al transportar minerales desde la zona de extracción hasta la planta concentradora, garantizando un flujo continuo de mineral y minimizando el tiempo de inactividad a través de la reducción del MTTR (Salis, 2022).

El dimensionamiento mecánico de los sistemas de transporte continuo por banda se fundamenta en las recomendaciones técnicas de la Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA, 2014) y lineamientos de diseño estructural (Miravete y Larrodé, 1998; Alvarado, 2016). Parámetros críticos como el ancho de banda, la velocidad operativa, la distancia entre centros de poleas, la altura de elevación y la potencia motriz determinan las tensiones efectivas de trabajo y la capacidad volumétrica requerida para el flujo continuo de mineral.

2.2. FT 3140-CV-002:

Flúor y Anglo American Quellaveco S.A. (AAQSA) están trabajando juntos en el desarrollo del proyecto "Quellaveco In-Plant Conveyors" en el sur de Perú. Este proyecto consiste en la construcción de una planta concentradora para procesar mineral de cobre y molibdeno. El proyecto es de tipo EP, lo que significa que incluye el diseño de ingeniería de detalle, la adquisición, fabricación y transporte de los equipos necesarios para el correcto funcionamiento de los sistemas transportadores incluidas en el alcance. El

proyecto se ubica en la provincia de Mariscal Nieto, en el departamento de Moquegua, a unos 34 km al este de la villa Moquegua, entre el valle del río Asana y el valle del río Cortadera (Fluor, 2019).

Los sistemas transportadores son un componente crucial en el funcionamiento de una planta concentradora de minerales como la que se está construyendo en el proyecto "Quellaveco In-Plant Conveyors". Tal como explica Acuña (2016), estas proporcionan un sistema de transporte continuo que se utilizan para trasladar hasta 2.800 toneladas por hora (tph) de material a una velocidad constante a lo largo de la línea de producción de 248 metros. En una planta concentradora de minerales, los sistemas transportadores se utilizan para mover el mineral de cobre y molibdeno desde la mina hasta la planta de procesamiento, donde se realiza la separación del mineral de interés de la roca estéril.

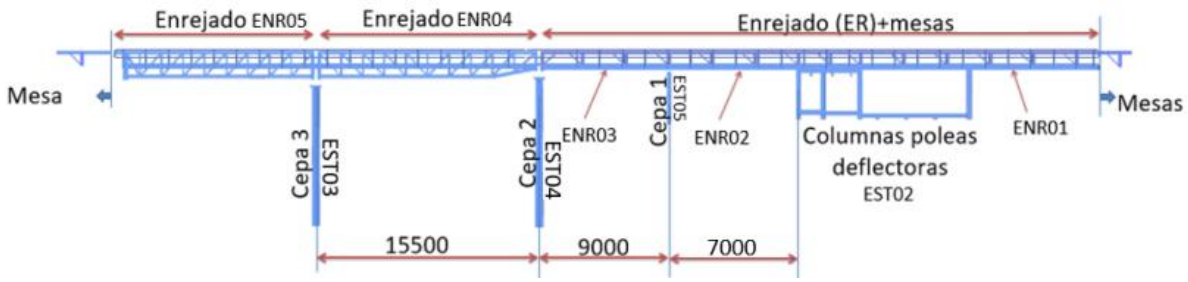
Estas fajas transportadoras pueden ser muy largas, incluso de varios kilómetros, y son capaces de mover grandes cantidades de mineral a una velocidad constante y controlada. Además, están diseñadas para soportar cargas pesadas y resistir el desgaste y la abrasión del material que se está transportando. Por lo tanto, Miravete y Larrodé (1998) afirman que los sistemas transportadores son esenciales en la operación de una planta concentradora de minerales, ya que permiten la eficiente y segura transferencia de grandes cantidades de mineral desde la mina hasta el proceso de extracción, lo que reduce los costos de transporte y aumenta la productividad.

Es en ese sentido, que la empresa Quellaveco incorpora la FT 3140-CV-002 y establece los requisitos establecidos en los Criterios de Diseño Estructural (MQ 11-02-DC-0000-SC 0001_4) para operaciones mineras (Anglo American, 2021). El diseño de las estructuras de acero correspondientes a los elementos estructurales que soportan la faja de 72” de ancho y 248 m de largo aproximadamente TAG 3140-CV-002 corresponden a: soporte de la faja a nivel de terreno (mesas), soporte de la faja en tramo

elevado, columnas de poleas deflectoras y Torre de Contrapeso. Además, la faja presente estructuras principales que se muestran a continuación:

Figura 1

Elementos de la FT 3140-CV-002.



Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

1. **Diseño de la FT 3140-CV-002.**
    - Cargas muertas.

Este diseño de FT constituye de este modo el conjunto de elementos que sirven de apoyo al momento de realizar sus operaciones. Cada elemento aporta además un peso que se considera al momento del cálculo, así como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1

Carga muerta por equipos principales.

Equipo	**Peso total (Kg'f)**
Marco polea de cola	643
Polea de cabeza	3276
Polea tensora	1641
Polea deflectora	2906
Polea motriz	2297
Polea de cola	2338
Cinta de carga/retorno	75/m

Sistema motriz	4940
Estructura soporte de roldanas	860
Carro tensor	1540
Polines de impacto	212
Polines de carga retractiles	170
Polines de carga	120
Polines de carga autoalineante	184
Polín de retorno plano	47
Polín de retorno en V	83
Polín de retorno en V autoalineante	159

Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Además, de los pesos o carga muerta de los equipos principales, se suman la carga muerta por elementos secundarios (DL2), por escalerilla eléctricas (DL3). Además, durante la operación de las fajas se incorporarán las cargas por derrame y polvo (DS).

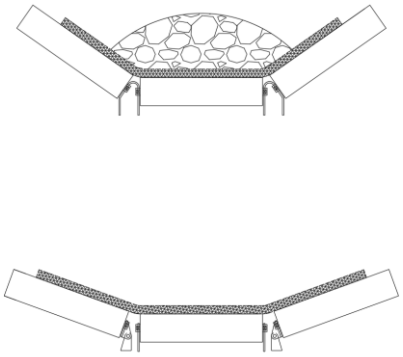
- Cargas de material.

Ahora bien, para el cálculo del material a transportar se toman en consideración:

QML: Que se entiende como la carga nominal de la faja en función de la capacidad de diseño máxima (t/h) y la velocidad de la faja (operación nominal) del transportador, multiplicada por un factor de sobrecarga de 1,25.

Figura 2

Carga de Material en operación normal de la faja.

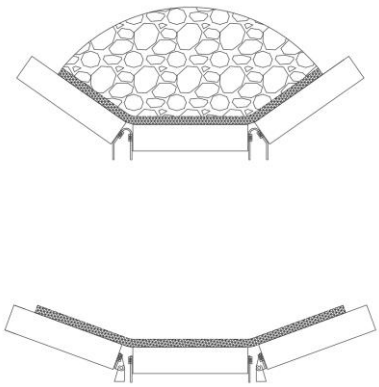


Nota. Elaboración propia basada en *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019). La figura 2, representa en la imagen superior el área ocupada dentro de la faja por una carga normal, como se muestra en la figura la carga ocupa no más del 50 % de los extremos de la faja, provocando una deformidad leve en las uniones de las fajas (imagen inferior).

QFL: Carga máxima o inundada de la faja en función de la capacidad total de la sección transversal de la faja.

Figura 3

Carga máxima de material.



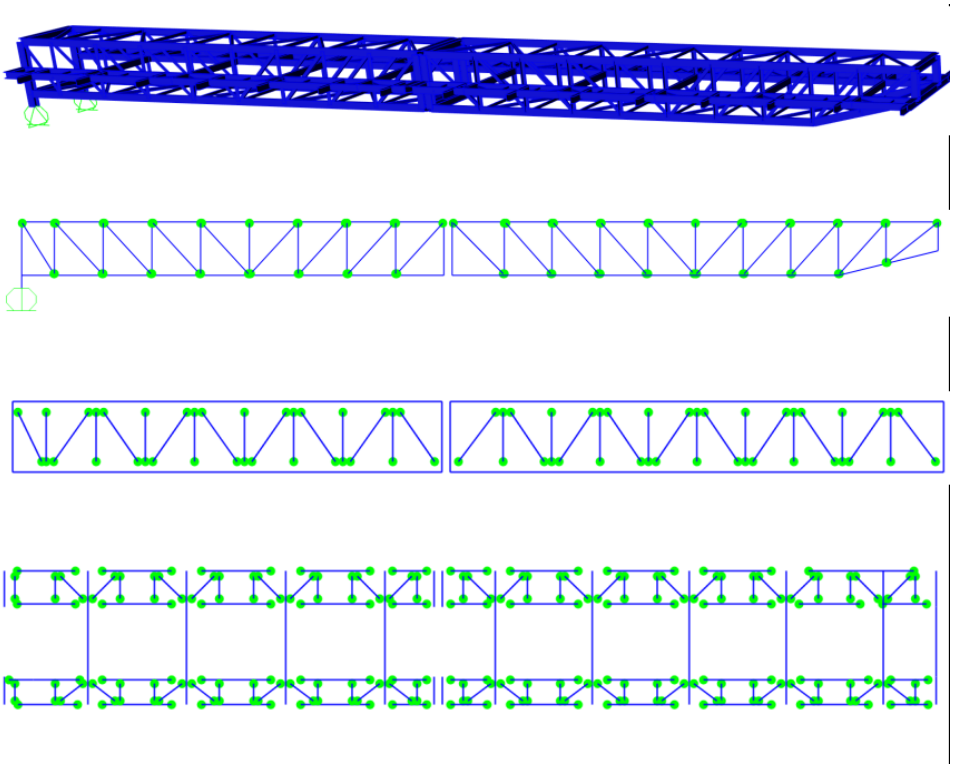
Nota. Elaboración propia basada en *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019). En la figura 3 se muestra la carga máxima de material que soporta una FT de este tipo, misma sobrepasa el 50 % de los extremos de la faja, sin sobrepasar

su totalidad, en caso de ocurrir este suceso se considerará una sobre carga y por tanto la pérdida del material como el detenimiento de las operaciones.

Finalmente, se analizan otros procesos y cargas en el diseño de las fajas transportadoras a fin de modelar y estructurar a través de un modelo computacional con el software SAP2000. Para este tipo de análisis tridimensional, Wilson (2002) indica que se utilizan elementos tipo FRAME para todos los elementos incluidos. En el modelo se ingresan las cargas descritas anteriormente, cada uno de los perfiles que definen los elementos estructurales. Los enrejados soportan la faja 3140-CV-002 en el tramo elevado de 13 m y 15.5 m (ver figura 4), desde el edificio de molienda de FLUOR hasta las cepas, corresponde a una estructura enrejada simplemente apoyada en la cepa y con apoyo deslizante, en el sentido longitudinal en el edificio de transferencia. El apoyo rotulado en la cepa se modela utilizando un elemento constraint tipo Body (con compatibilidad de desplazamientos no de giros) en los puntos de apoyo tanto del enrejado como de la cepa. Según explican McCormac y Csernak (2012), los marcos de inicio y de término son marcos soldados de momento y se conectan a través de una unión de momento a los cordones superior e inferior. Las cuerdas del enrejado corresponden perfiles UPE para soportar los elementos mecánicos y arriostramientos verticales y horizontales mediante perfiles L.

Figura 4

Estructura Enrejados, vistas.



Nota. Estructuración Enrejados – Isométrica, elevación, planta superior, planta pasillos Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Del mismo modo, se completan las estructuras de enrejado en los demás tramos de la FT 3140-CV-002, culminando con la parte que conecta a la torre receptora de material mineral en el proceso de chancado.

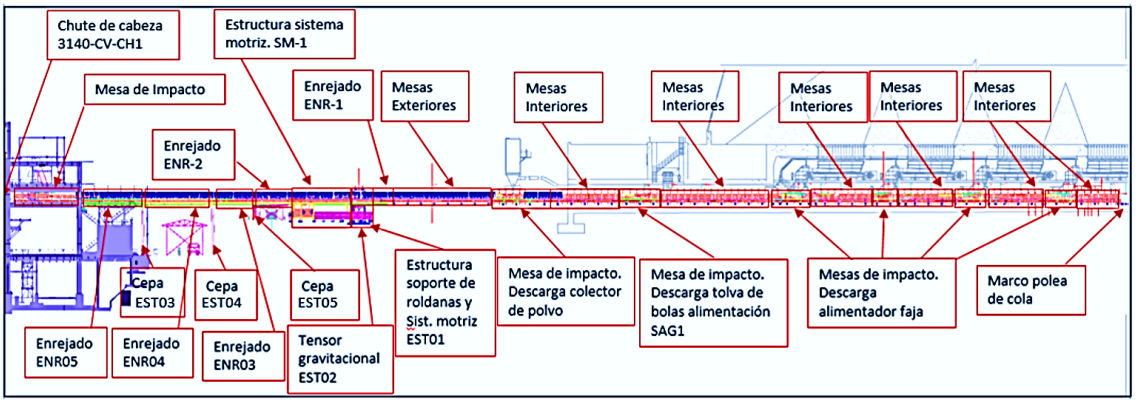
De este modo, se pueden describir los elementos que soportan a la FT 3140-CV-002, cuyas especificaciones fueron extraídas de los documentos de referencia del proyecto (Anglo American, 2021) para la elaboración del modelo computacional. El sistema está compuesto por dos enrejados de 15 m aproximadamente, soportado por 3 cepas, además de tres enrejados planos de 9 m en promedio, soportado por cepas, torres y/o fundaciones. También se consideran las columnas y vigas que conforman el soporte

de las poleas deflectoras, la torre de Contrapeso y las Mesas típicas de apoyo y mesas de Impacto.

Los enrejados están conformados por perfiles canales para cuerdas, ángulos para montantes y diagonales, está cerrado en ambos extremos por marcos conformados por perfiles W de manera de dar rigidez a la torsión. Dada las dimensiones del enrejado se diseña para ser soldado en su totalidad en maestranza en tramos de 10 m, con empalmes apernados entre tramos, con pasillos conectados al enrejado en terreno. Los distintos tipos de mesas obedecen a la distribución de polines sobre estas. Los anclajes de placas bases a hormigón se realizan mediante pernos de anclaje ASTM F1554 Gr 36 con sillas de anclaje en caso de tener tracciones debidas a sismo. El diseño de los perfiles del enrejado, de las cepas y torre de la faja y de las mesas tipo/impacto se chequea y cumple con los criterios de diseño y documentos de referencia de proyecto.

Figura 5

Distribución de elementos estructurales de la faja 3140-CV-002.



Nota. Elaboración propia basado en *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

2.3. Software NAVISWORKS

En la presente investigación, la plataforma Autodesk Navisworks se empleó como entorno de coordinación espacial tridimensional para el modelado de la infraestructura de la FT 3140-CV-002. Su aplicación permitió mapear las trayectorias de tránsito peatonal técnico, evaluar accesos a plataformas elevadas y cuantificar las distancias físicas requeridas durante las maniobras de detención manual.

2.4. Automatización de los procesos de detención:

Según el manual de CEMA (2014), la detención adecuada del sistema transportador es fundamental para prevenir accidentes y lesiones durante actividades de mantenimiento, limpieza o reparación. Además, contribuye a minimizar el desgaste y los daños en los componentes, prolongando la vida útil del equipo y reduciendo los costos de mantenimiento. Un proceso de detención efectivo también facilita el control del flujo de material transportado, optimizando la gestión del inventario y la eficiencia operativa.

En ese sentido, como señalan Wang y Liu (2019), el funcionamiento autónomo del proceso de detención en fajas transportadoras de minerales constituye un sistema de control autónomo que incrementa la disponibilidad operativa del equipo y minimiza la exposición del personal a zonas de riesgo como pasarelas y partes móviles. El objetivo de la automatización es reducir los tiempos de parada, evitar los daños en los equipos y optimizar el uso de la energía. Para lograrlo, se requiere de un sistema de control que monitoree el estado de las fajas, los motores, los sensores y los dispositivos de seguridad, y que pueda enviar señales de arranque, parada y alarma a las casas motrices. Además, se necesita de un sistema de comunicación que permita la transmisión de datos entre las diferentes estaciones del sistema de fajas, así como la visualización y supervisión remota del proceso.

Estos ejemplos de proyectos ilustran cómo la automatización del proceso de detención de fajas transportadoras de minerales logra disminuir el tiempo de inactividad, lo que, en el caso de estudio de la presente investigación, evita pérdidas económicas estimadas en 4.26 millones de dólares anuales, y mitiga los riesgos operativos al anular las rutas de intervención manual de 135 metros. Además, de acuerdo con Li et al. (2020), los sistemas autónomos posibilitan la obtención de información en tiempo real sobre el estado del sistema, facilitando la toma de decisiones y la optimización del proceso. La automatización también abre nuevas oportunidades para la integración de tecnologías adicionales, como la inteligencia artificial, el internet de las cosas o la robótica.

2.5. Software SAP 2000

El análisis estructural de los componentes portantes de la FT 3140-CV-002 se estructuró en el software SAP2000 mediante discretización tridimensional por el Método de los Elementos Finitos (MEF) empleando elementos tipo FRAME. La herramienta permitió modelar perfiles estructurales, verificar factores de utilización y evaluar el comportamiento de la armadura metálica ante la integración de las cargas asociadas al sistema automatizado.

2.6. Análisis de tiempos operativos en minería

La FT 3140-CV-002, que tiene una longitud de 248 metros y puede transportar hasta 2.800 toneladas por hora (tph), es fundamental para el proyecto Quellaveco, de acuerdo con sus criterios de diseño estructural (Anglo American, 2021). Su función es crucial para la cadena de valor, porque cualquier interrupción —ya sea por un fallo inesperado o una parada programada— provoca una pérdida inmediata del tonelaje procesado. Este descenso en la productividad repercute directamente sobre la eficacia

general de la operación, poniendo en riesgo las metas productivas. Para garantizar el flujo operativo constante de material, así como para maximizar la rentabilidad y minimizar el impacto económico negativo de cualquier interrupción, es crucial mantener la continuidad de esta faja. Por lo tanto, para el éxito del proyecto es prioritario que este componente sea confiable.

Según estudios de gestión minera (Infante & Valdivia, 2019), cada minuto de parada no planificada en una faja de alta capacidad puede representar una pérdida económica significativa. En el caso de la 3140-CV-002, se estima que, la pérdida por minuto es de 46,7 toneladas de mineral, la pérdida por hora es de 2.800 toneladas y el valor estimado (0,6% Cu, US$ 4,00/lb) es de ~US$ 500 por minuto de parada.

2.7. Indicadores clave de desempeño en operaciones mineras

La minería moderna utiliza diversos indicadores clave de desempeño (KPI) para evaluar y mejorar la eficiencia. Para medir el impacto de las interrupciones no programadas y valorar la eficacia de los métodos de mantenimiento, estas métricas son esenciales. Como explica García Palencia (2012), indicadores clave de rendimiento (KPI), como el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) y el Tiempo Medio de Reparación (MTTR), brindan una perspectiva minuciosa acerca de la confiabilidad de los equipos. La rapidez con que se resuelven los problemas se mide con el MTTR, y la durabilidad de la maquinaria, con el MTBF. Las empresas mineras tienen la capacidad de descubrir cuellos de botella, priorizar acciones para mejorar y justificar inversiones en tecnologías que aumentan la disponibilidad y el rendimiento operativo al monitorear estos indicadores.

- **MTTR (Mean Time To Repair) – Tiempo Medio de Reparación**
    - Definición: Tiempo promedio que transcurre desde que se detecta una falla hasta que el equipo vuelve a operar.

- Aplicación: En fajas transportadoras, incluye el tiempo de detención, diagnóstico
- Formula:

$$MTTR = \frac{Tiempo\ total\ de\ parada}{\#\ de\ fallas\ o\ paradas} \ldots (1)$$

- Valor típico en sistemas manuales: 30–60 minutos.
- Objetivo con automatización: Reducirlo a menos de 15 minutos.

- **MTBF (Tiempo medio entre fallos) – Tiempo Medio entre Fallas**
  - Definición: Tiempo promedio entre dos eventos de falla consecutivas.
  - Aplicación: Mide la confiabilidad del sistema
  - Formula:

$$MTBF = \frac{Tiempo\ total\ operativo}{\#\ de\ fallas\ o\ paradas} \ldots (2)$$

  - Impacto de la automatización: Aumenta el MTBF al permitir detecciones tempranas y paradas controladas.
- **Tiempo de actividad (Disponibilidad Operativa)**
  - Definición: Porcentaje de tiempo que el equipo está operativo respecto al tiempo total programado.
  - Formula:

$$A_o = (\frac{MTBF}{MTBF+MTTR}) * 100 \ldots (3)$$

  - Meta en minería: >95%.
- **OEE (Overall Equipment Effectiveness) – Efectividad Global del Equipo**
  - Combina disponibilidad, rendimiento y calidad.

- Una detención prolongada afecta directamente la disponibilidad, reduciendo el OEE.

Tabla 2

Tipos de paradas en fajas transportadoras.

Tipo de parada	Causa	Tiempo promedio	Fuente
Planificada	Mantenimiento preventivo	30–120 minutos	Procedimientos internos
No planificada	Falla mecánica, desalineación	45–180 minutos	Informes de operaciones
Emergencia	Activación de Pullcord, incendio	10–30 minutos	Sistema de seguridad
Manual (por operador)	Inspección, ajustes	5–15 minutos	Observación directa

Nota. Elaboración propia.

Las paradas de emergencia y los manuales brindan una excelente posibilidad de optimización mediante la automatización. Como explican Wang y Liu (2019), estas detenciones están sujetas a la velocidad de respuesta del operador, lo que frecuentemente genera un tiempo muerto innecesario. La puesta en marcha de sistemas automatizados posibilita que las máquinas identifiquen anomalías y se frenen de forma inmediata y exacta, disminuyendo notablemente los tiempos de respuesta frente a la intervención humana. Esta habilidad no solo reduce las pérdidas de producción al disminuir las interrupciones, sino que también mejora la seguridad, salvaguardando a los equipos y al personal de daños más graves. Al automatizar, las paradas manuales se transforman en

respuestas programadas y efectivas, lo que lleva la productividad y la seguridad operativa a un nuevo nivel (García Palencia, 2012).

2.8. Sistemas de detención manual – Riesgos y limitaciones

En el caso de la FT 3140-CV-002, los procedimientos de detención manual incluyen:

1. Activación de dispositivos Pullcord: Estos cables, situados a lo largo de la faja (con una distancia de 30 a 60 m entre cada uno), posibilitan que la cinta se detenga cuando son tirados. No obstante, su eficacia está condicionada a que el operario se encuentre próximo al punto de activación.
2. Acceso a tableros eléctricos locales: El personal tiene que usar escaleras, plataformas y pasarelas para llegar a los tableros de control (por ejemplo, el 3140-IO-014) situados en estructuras elevadas para poder hacer una parada segura o reiniciar.
3. Coordinación vía radio con supervisión central: Antes y después de la detención, se requiere comunicación para autorizar la intervención, lo que añade tiempo de espera al proceso.
4. Verificación visual del estado de la cinta: Después de la detención, el operador tiene que examinar la faja para detectar cualquier desalineación, rotura o acumulación de material, lo cual requiere un movimiento físico a través de toda la estructura.

Estos pasos, si bien están estandarizados en los protocolos de seguridad, producen un tiempo de intervención importante, sobre todo cuando la avería se presenta en áreas de difícil acceso.

2.9. Riesgos asociados a la detección manual

No solo las limitaciones operativas son características de los procesos manuales, sino que también implican peligros considerables para la seguridad del personal, particularmente en ámbitos industriales como el de Quellaveco. Como advierte la Conveyor Equipment Manufacturers Association [CEMA] (2014), el contacto directo de los seres humanos en la detención y el reinicio de maquinarias pesadas, como sistemas transportadores, pone a los trabajadores frente a riesgos tales como caídas, golpes o atrapamientos. La ausencia de un protocolo estandarizado y automatizado hace más probable que ocurran errores humanos y accidentes. Por consiguiente, tal como concluyen Wang y Liu (2019), para salvar la integridad física de los trabajadores y alinear la seguridad con la eficiencia operativa, es esencial actualizar y automatizar estos procedimientos. Eliminar el contacto directo con la maquinaria en movimiento es un paso fundamental para lograr un ambiente de trabajo más seguro y productivo.

- Riesgo de caídas desde altura
    - La faja 3140-CV-002 cuenta con pasarelas elevadas, escalerillas y plataformas de trabajo.
    - El acceso a dispositivos de parada o tableros requiere desplazarse en zonas con desnivel, aumentando el riesgo de caídas.
    - Según el MSHA (2021), las caídas representan el 24% de los accidentes en fajas transportadoras.
- Exposición a partes móviles
    - Durante la inspección o mantenimiento, el personal puede acercarse a poleas, roldanas o cintas en movimiento, con riesgo de atrapamiento o amputación.

    - Aunque existen protocolos de bloqueo y etiquetado (LOTO), su cumplimiento no siempre es estricto.
- Condiciones ambientales adversas
    - La operación se realiza en ambientes con polvo, ruido, viento y temperaturas extremas, lo que dificulta la concentración y aumenta el riesgo de errores humanos.
- Falta de parada inmediata en emergencias
    - En casos de incendio, desalineación severa o rotura de cinta, la detención manual puede no ser lo suficientemente rápida, permitiendo que el daño se propague.

Tabla 3

Comparativo de riesgos en sistemas de detención manual vs. Automatizado.

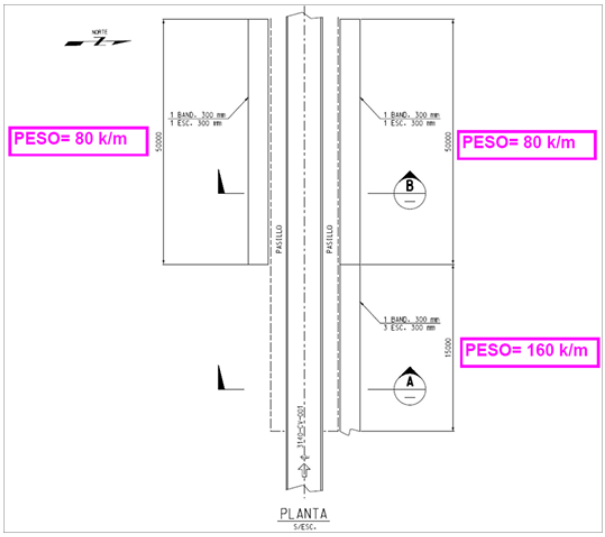
Riesgo	Manual del sistema	Sistema automatizado
Tiempo de respuesta	> 3 minutos	< 10 segundos
Desplazamiento en altura	Sí (pasarelas, escalerillas)	No requerido
Exposición a partes móviles	Alta	Baja
Dependencia del operario	Total	Parcial
Detección temprana de fallas	No	Sí (sensores)
Comunicación por radio	Obligatoria	Opcional

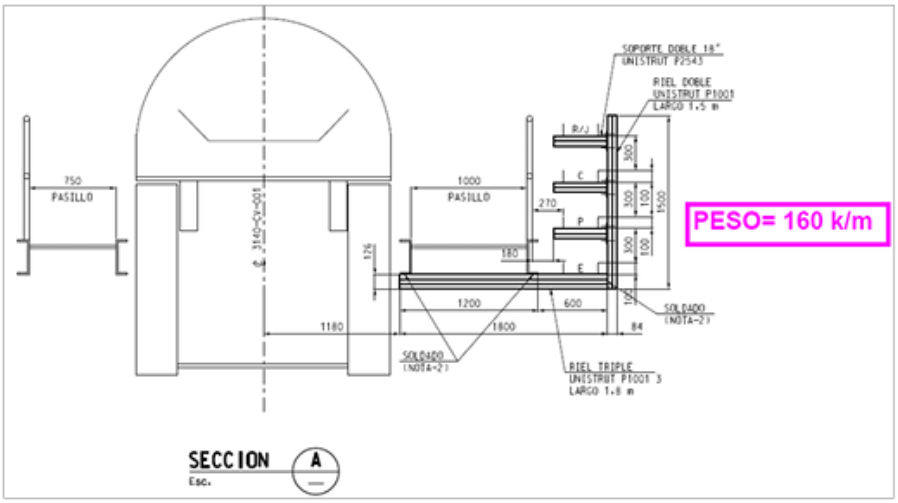
Nota. Elaboración propia.

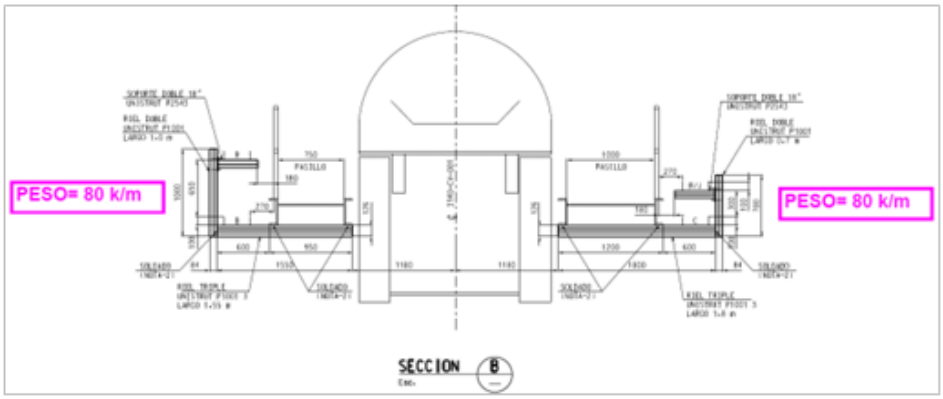
Acceso y estructura

Figura 6

Acceso a dispositivos de mantenimiento en la faja 3140-CV-002.







Nota. Elaboración propia basado en *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Esto explica la distribución de pasarelas y escalerillas, lo cual demuestra que el acceso a áreas críticas de la FT exige desplazamiento tanto horizontal como vertical. Esta infraestructura es fundamental para que los operarios de mantenimiento accedan con seguridad a las zonas laborales, aunque también resalta lo intrincada que es la topología del equipo. La necesidad de cubrir largas distancias y subir varios niveles incrementa la duración de las intervenciones, lo que impacta su eficacia. Así, cada minuto de caminata y subida equivale a un minuto perdido de producción. Para disminuir los tiempos de respuesta y limitar las interrupciones operativas, es fundamental optimizar el acceso.

2.10. Automatización de los procesos de detención – Tecnologías y beneficios

La incorporación de sistemas de control autónomos, como SCADA y Controladores Lógicos Programables (PLC), permite una reacción instantánea ante fallas, activando paradas automáticas y reduciendo significativamente el tiempo de inactividad (Gao y Hou, 2017). Esta digitalización está siendo adoptada en la faja 3140-CV-002 del proyecto Quellaveco (Anglo American, 2021), utilizando plataformas de control industrial para integrar la supervisión, asegurar la continuidad y disminuir la dependencia exclusiva de la intervención manual.

2.11. Tecnologías clave en la automatización de detención

El sistema de detención automática integra sensores de campo conectados a un PLC industrial, permitiendo tiempos de respuesta de procesamiento inferiores a 100 ms ante variables críticas fuera de rango (Heredia & Velásquez, 2021)

Tabla 4

Sensores de detección de fallas.

Sensor	Función	Tiempo de detención
Sensor de desalineación	Detecta desviación de la cinta	< 2 segundos
Sensor de velocidad	Monitorea las RPM de las poleas	< 1 segundo
Cordón de tiro con salida digital	Versión automatizada del cable de emergencia	< 3 segundos
Sensor de carga	Detecta sobrecarga o vacío	< 2 segundos

Nota. Elaboración propia.

La plataforma SCADA complementa el control proveyendo interfaz gráfica en tiempo real y habilitando la parada remota inmediata desde la sala de operaciones, eliminando tiempos muertos de desplazamiento.

2.12. Arquitectura

La arquitectura funcional comprende la captación de señales mediante instrumentación periférica, procesamiento lógico en PLC centralizado y transmisión de consignas hacia los actuadores mecánicos y eléctricos en menos de 10 segundos, reduciendo drásticamente la latencia manual.

Tabla 5

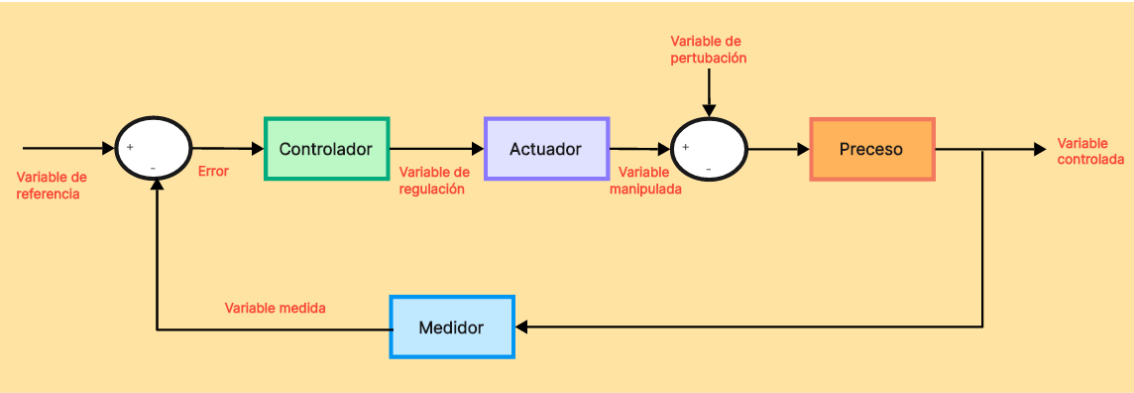
Beneficios de la automatización.

Beneficio	Descripción
Reducción de tiempos de parada	De 4,2 min a 1,5 min por evento.
Mayor seguridad	Hombres
Mejor continuidad operativa	Aumento del uptime y reducción de MTTR.
Registro de eventos	Datos para análisis de fallas y mejora continua.
Integración con otros sistemas	Posibilidad de conectar con sistemas de mantenimiento predictivo.

Nota. Elaboración propia.

Figura 7

Diagrama de bloques de un sistema de detención automatizado.



Nota. Elaboración propia.

2.13. Estándares y normativas de seguridad industrial

El diseño y operación de la FT 3140-CV-002 exigen estricta sujeción a normas técnicas y de seguridad minera (CEMA, 2014; Anglo American, 2021). La infraestructura soporta esfuerzos dinámicos y requerimientos sísmicos severos, garantizando la respuesta segura de sus dispositivos de detención ante contingencias.

2.14. Normativas de diseño estructural aplicadas.

El dimensionamiento estructural de perfiles, placas base y celosías se rige bajo la norma AISC 360-10, asegurando la resistencia contra pandeo, flexión y corte. Las solicitaciones sísmicas y eólicas características de Moquegua fueron modeladas conforme a los lineamientos del UBC 1997.

2.15. Combinaciones de carga según LRFD

El análisis estructural emplea el método LRFD (AISC 360-10), aplicando factores de mayoración a cargas muertas, operativas y ambientales para verificar la resistencia de enrejados, cepas y torres.

Tabla 6

Principales combinaciones

Combinación	Fórmula	Descripción
1.4 DL	Carga muerta	Estado de servicio sin carga viva
1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 Lr	Cargas muertas, vivas y de techo	Condición operativa normal
1,2 DL + 1,6 Lr + 0,5 LL	Cargas muertas, de techo y vivas.	Escenario alternativo

1,2 DL + 1,0 E + 1,0 LL + 0,2 S	Cargas muertas, sismo, viva y nieve.	Escenario sísmico
0,9 DL + 1,0 W	Carga muerta y viento	Viento como carga principal

Nota. Elaboración propia basado en *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Estas combinaciones se aplican para verificar la resistencia de:

- Enrejados (ENR.01 a ENR.05)
- Estructura del sistema motriz (EST.01)
- Torre tensora (EST.02)
- Cepas y mesas de ajuste

2.16. Normativas de seguridad industrial

La operación de los transportadores de fajas, así como el diseño estructural, se rige por las normativas de seguridad industrial, cuyo objetivo es evitar accidentes y salvar al personal.

Tabla 7

Normativas aplicadas en el diseño y operación de la faja 3140-CV-002.

Normativa	Tipo	Aplicación
AISC 360-10	Estructural	Diseño de columnas, placas base, conexiones.
Universidad de Columbia Británica 1997	Estructural	Cargas sísmicas y de viento

MSHA 30 CFR	Seguridad	Paradas de emergencia, LOTO
ISO 13850	Seguridad	Función de parada de emergencia
ISO 14119	Seguridad	Interbloqueo durante mantenimiento

Nota. Elaboración propia basado en *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Tabla 8

Cargas consideradas en el diseño.

Carga	**Simbólico**	**Descripción**
Carga muerta	DL	Peso propio de la estructura metálica.
Sobrecarga operativa	LL	250 kgf/m² en pasarelas y plataformas
Carga de material	QML, QFL	Peso del mineral en movimiento
Impacto	Ci	Cargas dinámicas por caída de material.
Sismo	Ej., Ez	Fuerzas horizontales por movimiento telúrico.
Viento	O	Presión lateral sobre estructuras elevadas

Polvo	Ds	Acumulación de material particulado
Bop / Bmáx	Bop, Bmáx	Cargas de montaje y mantenimiento

Nota. Elaboración propia basado en *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

2.17. Conexión con la automatización

La modernización del sistema de parada fortalece el cumplimiento normativo (MSHA, ISO 13850 y AISC 360-10) al reducir la frecuencia de intervención humana directa en altura y poleas móviles, disminuyendo la exposición a riesgos críticos sin alterar la integridad portante de la estructura.

III. Materiales y métodos

3.1. Metodología

La investigación tuvo como objetivo principal determinar la influencia de la automatización de los procesos de detención de las fajas transportadoras en el tiempo de mantenimiento de equipos de operaciones mineras, para ello se desarrolló un diseño de investigación como se muestra a continuación.

Por el tipo de datos: Cuantitativa.

Por el tipo de investigación: No experimental, transversal.

Por su enfoque: Aplicada.

Por su desarrollo: Documental y revisión sistemática.

3.2. Diseño de investigación

La investigación entonces buscó describir la relación existente entre las variables de tiempo y el proceso de detención de las fajas transportadoras, además, se buscó analizar la influencia existente, dicho de otro modo, la investigación tuvo un diseño **descriptivo correlacional**, modalidad de estudio que buscó evaluar la relación entre dos o más variables en un contexto determinado. Este tipo de diseño se basa en la recolección y análisis de datos cuantitativos, utilizando pruebas estadísticas como la correlación lineal de Pearson, que permitió medir el grado y la dirección de la asociación entre las variables (Hernández & Fernández, 2014).

3.3.1. Población y muestra

La población y muestra del estudio es única, conformada exclusivamente por la FT 3140-CV-002 de las operaciones mineras del proyecto Quellaveco.

3.3.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Tabla *9*

Técnicas e instrumentos utilizados en la investigación.

Técnicas	Instrumentos
Observación directa	Matriz de registro fotográfico
Diagrama de flujo	SAP 2000 / Navisworks
Análisis documental	Lista de documentos / Matriz de recojo de información / Matriz de homogenización de datos

Nota. Elaboración propia.

a) Técnicas de recolección de datos:

Se aplicaron las técnicas de análisis documental y observación directa estructurada. El análisis documental se focalizó en la revisión de la ingeniería de detalle, planos de taller y la Memoria de Cálculo estructural de la faja 3140-CV-002. La observación directa se orientó al registro cronometrado y fotográfico de los procedimientos en campo durante las paradas operativas y de mantenimiento.

b) Instrumentos de recolección de datos:

Matriz fotográfica: Instrumento de observación directa estructurado para documentar visualmente la detención de las fajas. Permitió registrar con

precisión aspectos clave como la posición del personal, las herramientas empleadas y las condiciones del entorno laboral durante ambos métodos de operación.

Lista de Documentos: Esta lista fue desarrollada previamente, incluyendo los documentos pertinentes a la temática de estudio. Se aplicó un check list para recopilar datos específicos de cada documento, tales como fechas de publicación, recomendaciones y descripciones de los procedimientos de detención.

Matriz de recojo de información: Corresponde a una matriz que tiene como finalidad obtener información con respecto a investigaciones sobre los procesos de mantenimiento de sistemas transportadores en minería, esta matriz contó con variables como tiempo de duración por proceso, tamaño de faja, carga en faja, procesos existentes, entre otros.

SAP 2000 y Navisworks: Herramientas digitales para diagramar las actividades y subprocesos que se incluyen dentro del proceso de detención de sistemas transportadores, tomando en cuenta el modelo de faja, así como las interacciones con los componentes exteriores.

3.3.3. Técnicas de análisis de datos

Para comparar los tiempos de detención manual y automatizado de una FT es necesario conocer el tiempo promedio sobre el cual se desarrolla estas operaciones, por ello el análisis de datos consiste en la recopilación ordenada de los factores que influyen en el tiempo de operaciones para una detención manual y automatizada de sistemas transportadores.

Para el contraste de tiempos, los registros cronometrados del procedimiento manual fueron procesados estadísticamente mediante análisis descriptivo (media, rangos y desviaciones) y correlacionados con las simulaciones cinemáticas de rutas en Navisworks y las verificaciones mecánicas en SAP2000. Los tiempos proyectados bajo automatización se modelaron suprimiendo la latencia física de traslados peatonales y paralelizando los bloqueos motrices y eléctricos mediante PLC/SCADA.

Como información cuantitativa se recopilaron mediciones de tiempo, dimensiones de la FT, peso de la FT, número de procesos incluidos, número de equipos, entre otros. Con respecto a la información cualitativa se incluyen, tipo de faja, uso de FT, modelo de faja, características de diseño de las fajas, sistemas de acompañamiento, entre otros.

Finalmente, la información fue estandarizada para obtener tiempos promedios de detención de fajas transportadoras comparables con la FT 3140-CV-002, esto a través de un análisis estadístico de los tiempos de detención de los sistemas transportadores y las correlaciones con respecto a las características de la FT de estudio, para obtener la estimación del tiempo de detención en operaciones manuales de la faja de estudio. Luego se compararon los tiempos de detención de procesos automatizados reduciendo los subprocesos manuales que interfieren en el proceso de detención para obtener así el tiempo de detención automatizado. Por último, se pasó por una prueba de correlación donde se compara el tiempo de detención de los sistemas transportadores y el método de detención manual o automático.

3.3.4. Procedimiento:

En primer lugar, se llevó a cabo la fase de preparación, la cual comprendió el diseño y la selección de los instrumentos de investigación, tales como la matriz fotográfica y la matriz de recolección de información. Paralelamente, se establecieron las

estrategias de búsqueda y se seleccionaron los servidores académicos para la recopilación bibliográfica.

Posteriormente, se procedió con la fase de recolección de datos. Para la obtención de información primaria, se aplicó la técnica de observación directa, cuyos resultados fueron registrados metódicamente en las matrices previamente diseñadas. De forma simultánea, se recopiló información secundaria proveniente de fuentes externas (libros, artículos científicos y tesis), lo que permitió consolidar una base de datos robusta sobre los procedimientos de detención de las fajas transportadoras.

Una vez culminada la recolección, se ejecutó el análisis de los datos. En esta etapa, se procesó la información contenida en las matrices para comparar de manera directa los tiempos de operación requeridos en cada proceso y subproceso durante la detención de los sistemas transportadores.

3.4. Desarrollo y cálculos

3.4.1. Identificar el diseño estructural de la FT 3140-CV-002

El propósito fue detallar, examinar y registrar la configuración estructural de la FT 3140-CV-002, que es un elemento crucial en el proyecto Quellaveco In-Plant Conveyors. El estudio se fundamentó en el documento técnico elaborado por thyssenkrupp Industrial Solutions (2019), titulado "Memoria de Cálculo - Diseño Estructural Faja 3140-CV-002". Este documento de nivel superior especifica las cargas, criterios de diseño y configuraciones que se han utilizado. Es fundamental la revisión de este análisis para entender la confiabilidad del equipo y su integridad estructural, asegurando así que tiene la capacidad de funcionar de manera eficiente y segura. La documentación técnica es la base de cualquier cambio que se haga en el futuro.

El propósito fue detallar, examinar y registrar la configuración estructural de la FT 3140-CV-002, que es un elemento crucial en el proyecto Quellaveco In-Plant Conveyors. El estudio se fundamentó en el documento técnico elaborado por thyssenkrupp Industrial Solutions (2019), titulado "Memoria de Cálculo - Diseño Estructural Faja 3140-CV-002". Este documento de nivel superior especifica las cargas, criterios de diseño y configuraciones que se han utilizado. Fue fundamental la revisión de este análisis para entender la confiabilidad del equipo y su integridad estructural, asegurando así que tiene la capacidad de funcionar de manera eficiente y segura. La documentación técnica es la base de cualquier cambio que se haga en el futuro.

Como parte del desarrollo de la presente investigación, se ofrece un examen minucioso de cada elemento estructural, las cargas tenidas en cuenta, las combinaciones de diseño y las respuestas globales y locales. La meta es describir en su totalidad el sistema estructural que sostiene esta FT. Este análisis confirma que todos los componentes de la faja, desde las columnas hasta las vigas y uniones, satisfacen los

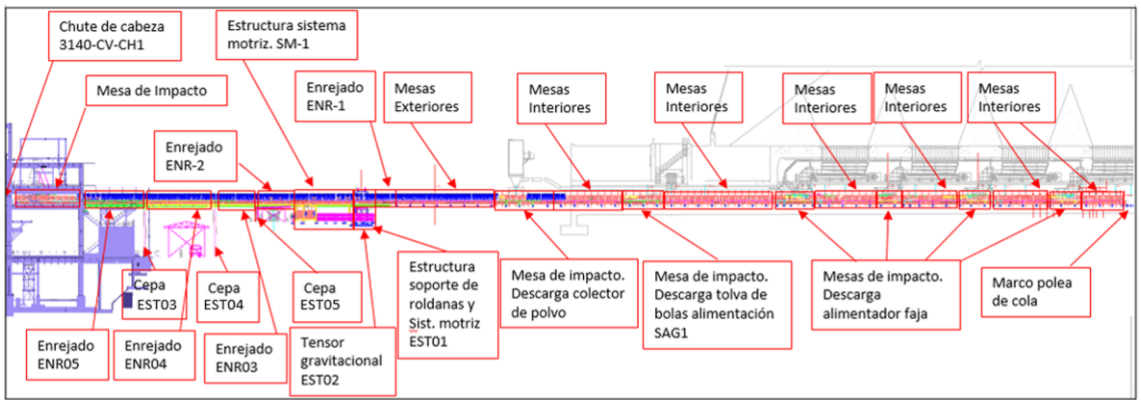
estándares de seguridad y eficiencia. Para confirmar la integridad estructural, fue fundamental revisar las cargas sísmicas, operativas y ambientales. Es posible asegurar la estabilidad, confiabilidad y duración de la estructura al comprender cómo las diversas fuerzas interactúan con ella; esto fue crucial para que el proyecto continúe funcionando.

3.4.2. Configuración general de la faja 3140-CV-002

La faja 3140-CV-002 está compuesta por una serie de tramos estructurales que se distribuyen a lo largo de su recorrido de 248 m. La identificación de los elementos se dió en base a la información recopilada a través de M5520D-030501-3140-CA-ES-0002.

Figura 8

Identificación de los elementos estructurales de la faja 3140-CV-002.



Nota. Elaboración propia basado en *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Se identificaron los siguientes elementos principales:

Tabla 10

Elementos utilizados en la investigación.

Elemento	Descripción
ENR.01 y ENR.05	Enrejados metálicos que soportan la cinta en tramos elevados
EST.01	Estructura del sistema motriz (polea motriz, motor, transmisión)
EST.02	Torre tensora gravitacional (contrapeso)
Cepas 1, 2, 3	Estructuras de soporte en extremos de la faja
Mesas de impacto	Soportes en puntos de carga (alimentadores)
Plataformas y pasarelas	Acceso para operadores y mantenimiento

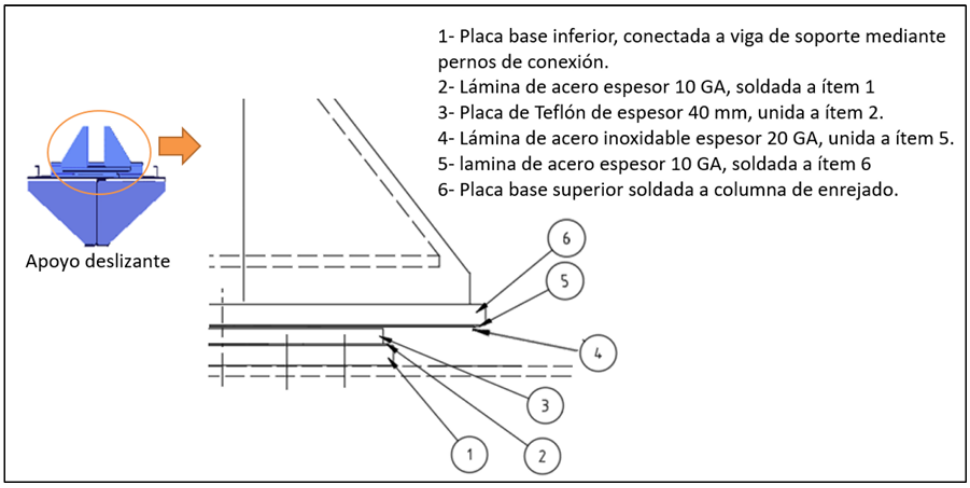
Nota. Elaboración propia basado en *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Este sistema estructural establece un recorrido ininterrumpido que conecta el área de transferencia con la edificación de molienda de Flúor. Se caracteriza por tener un soporte deslizante en la conexión con el edificio, que está diseñado con una solución de contacto entre teflón y acero. Esta propiedad es fundamental para que se absorban los movimientos y las dilataciones térmicas, previniendo así la acumulación de tensiones capaces de perjudicar la estructura. El teflón disminuye la fricción, lo que posibilita un desplazamiento controlado y suave entre las dos estructuras. Este tipo de diseño

inteligente garantiza la integridad estructural y la funcionalidad a largo plazo, resguardando tanto la estructura del edificio de molienda como la FT.

Figura 9

Descripción del apoyo deslizante.



Nota. Elaboración propia basado en *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

3.4.3. Diseño de los enrejados metálicos (ENR.01 a ENR.05)

Las estructuras de tipo armadura que sostienen las roldanas y la cinta en las secciones elevadas del transportador de faja son los enrejados metálicos. El diseño es esencial para la integridad del sistema. Cada enrejado tiene un arreglo particular, diseñado para su localización y la carga que ha de resistir. Esta ingeniería precisa garantiza que la estructura sea liviana y, al mismo tiempo, resistente, utilizando la menor cantidad de material posible sin poner en riesgo la seguridad. Para asegurar la alineación de la faja y un flujo ininterrumpido de material, los enrejados son esenciales; esto evidencia cuán importante es la ingeniería estructural para el funcionamiento minero.

A) Distribución y dimensiones

- ENR.01: Ubicado cerca de la estructura motriz (EST.01).
    1. Longitud: ~15 m
    2. Altura: variable (hasta 8 m)
    3. Sección transversal: tipo Warren (Figura 4-7, p. 11)
- ENR.02 y ENR.03: Tramos intermedios
    1. Longitud combinada: 60 m
    2. Apoyos: sobre mesas especiales (Figura 7-10, p. 45)

B) Materiales y perfiles

Los perfiles utilizados son de acero estructural ASTM A36, con las siguientes características:

Tabla 11

Perfiles usados en la investigación.

Perfil	Sección típica	Uso
W10x12	10” x 12 lb/ft	Columnas verticales
L4x4x1/4	Angular 4” x 4” x ¼”	Diagonales de enrejado
HSS6x6x1/2	Tubular cuadrado	Vigas principales

Nota. Elaboración propia basado en *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

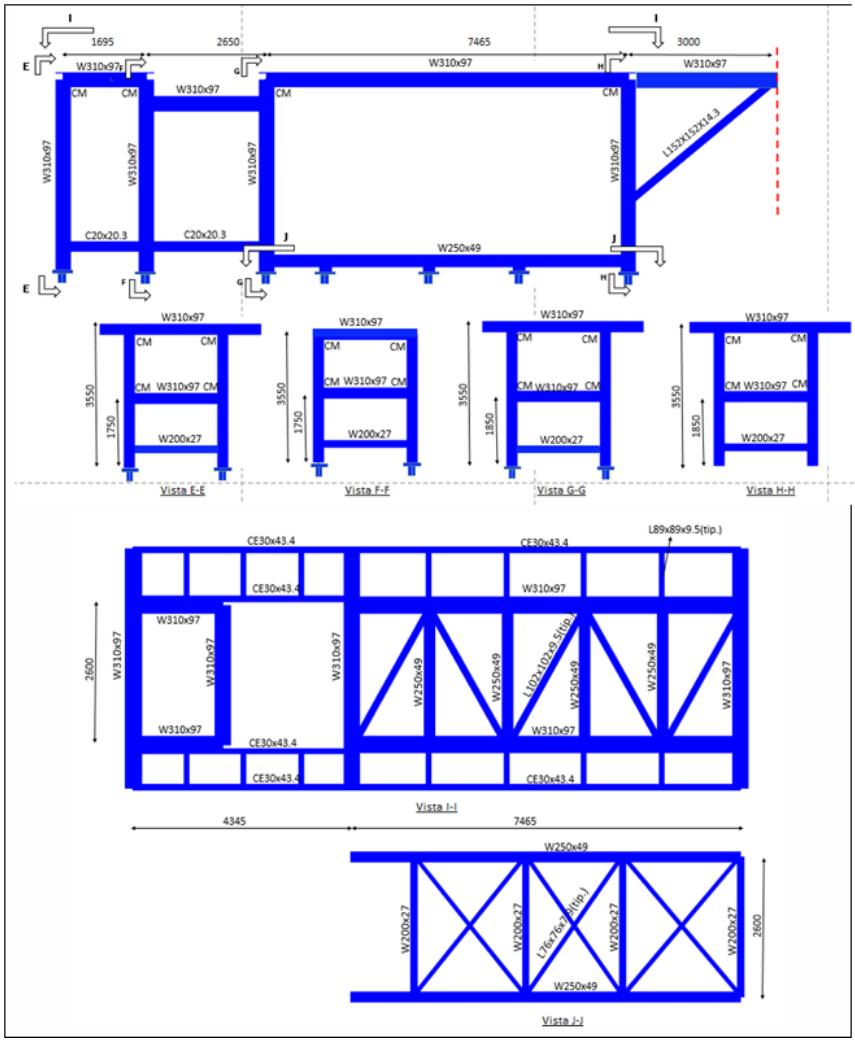
Estructura del sistema motriz (EST.01)

La polea motriz, el motor eléctrico y el sistema de transmisión están soportados por la estructura EST.01. Es uno de los componentes más cargados del sistema.

A) Configuración estructural

Figura 10

Geometría: Estructura tridimensional tipo pórtico.

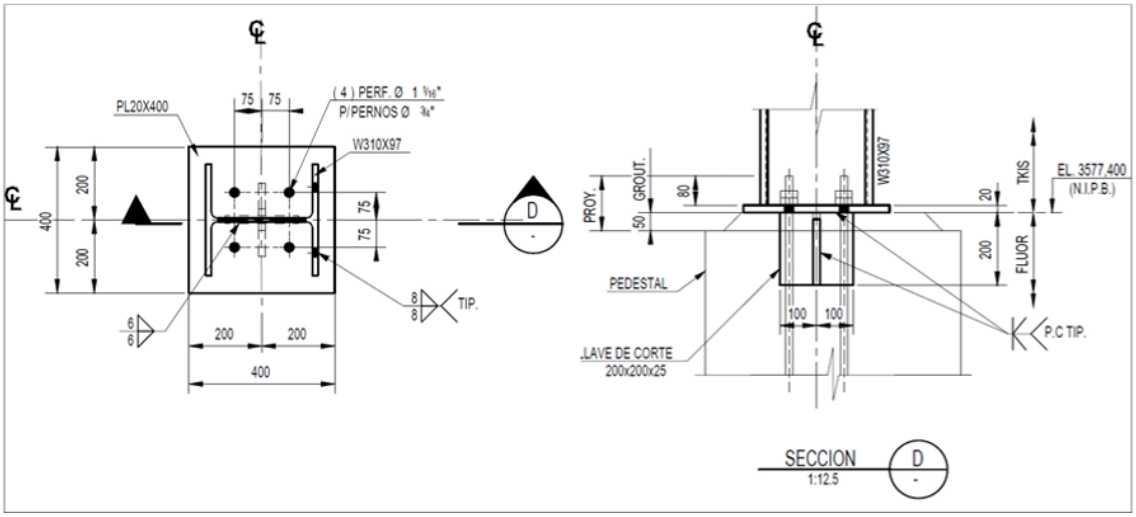


Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-*002 (Flúor, 2019).

Figura 11

Base: Placas base ancladas a cimentación.

Altura: 6 m



Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

B) Cargas aplicadas

Las cargas en EST.01 incluyen:

- Peso del motor y polea: 5.2 t
- Momento torsional: 18.5 t
- Fuerzas dinámicas por arranque y parada

Estas cargas se transmiten a la cimentación a través de placas base que emplean anclajes de acero ASTM F1554 Grado 55. Este procedimiento garantiza una conexión sólida y segura entre la estructura de la faja y los cimientos de concreto. Los anclajes ASTM F1554 Grado 55 son reconocidos por su elevada resistencia, lo cual los convierte en perfectos para soportar las cargas dinámicas y estáticas de la cinta transportadora. Para que el sistema se mantenga estable, es fundamental instalar correctamente estos anclajes,

asegurando que todas las fuerzas (desde el peso de la estructura hasta las cargas operativas) se transfieran al suelo de manera segura.

Torre tensora gravitacional (EST.02)

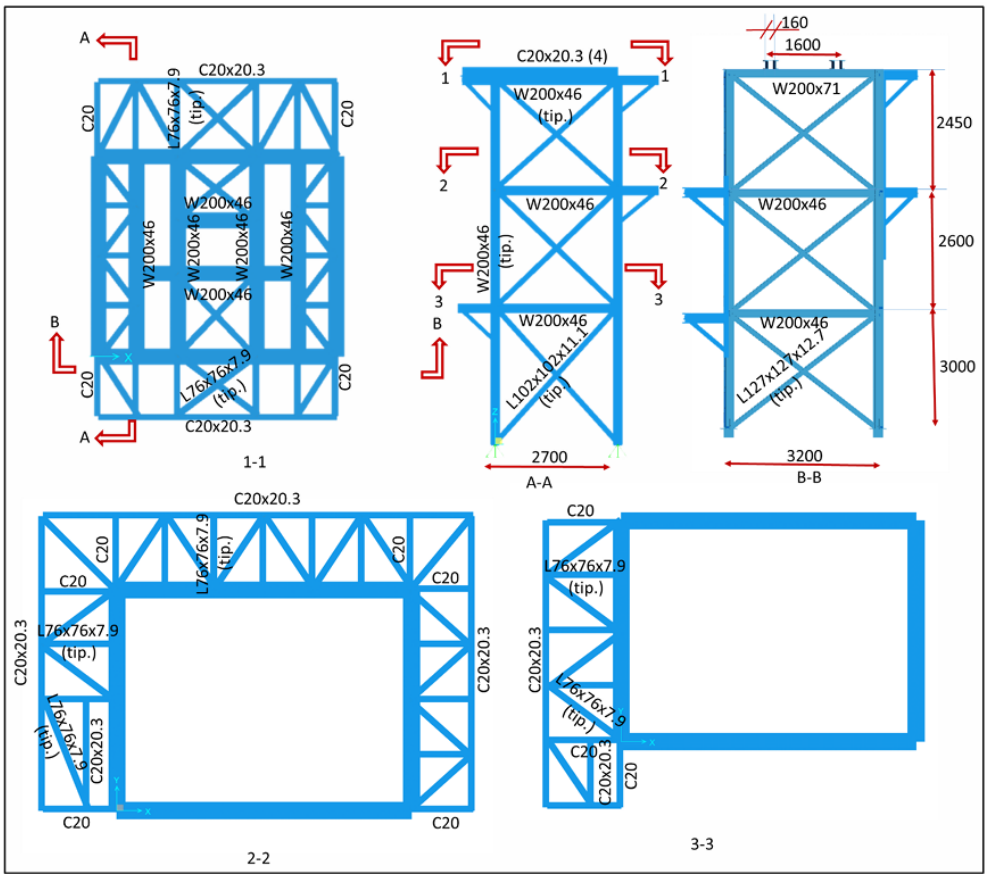
La torre EST.02 desempeña un papel fundamental en la FT porque asegura que la cinta conserve una tensión apropiada. Esto se consigue a través de un contrapeso y un carro tensor. La función de la torre es garantizar que la cinta no se afloje ni se estire demasiado, lo cual podría llevar a un desgaste prematuro progresivo o incluso a una detención de emergencia. El contrapeso ejerce una fuerza constante sobre el tensor del carro, regulando la tensión de forma automática mientras las condiciones ambientales y las cargas operativas cambian. Para que la cinta tenga una larga duración y continúe operando, es fundamental mantener adecuadamente este sistema.

A) Características principales

- Altura: ~12 m
- Contrapeso: ~8.5 t

Figura 12

Configuración: Estructura tipo torre con diagonales.



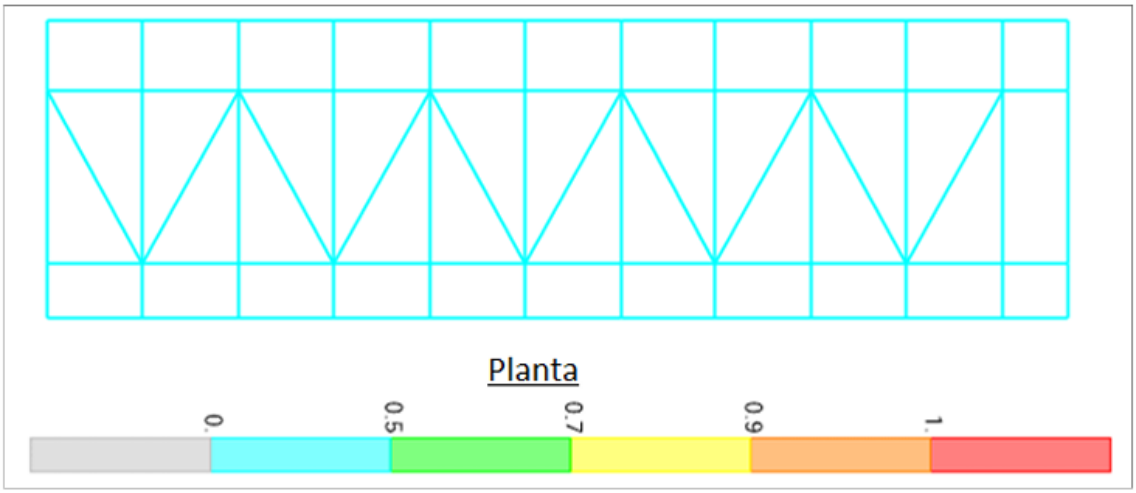
Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

B) Reacciones estructurales

Según la información rescatada mediante el Diseño Estructural Faja 3140-CV-002 (M5520D-030501-3140-CA-ES-0002), el Factor de utilización de los perfiles pertenecientes a enrejado ENR.02 y ENR.03.

Figura 13

Factor de utilización de los perfiles pertenecientes a enrejado ENR.02 y ENR.03.



Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Las reacciones en EST.02 son:

Tabla 12

Reacciones globales.

Carga	FX (Tonf)	FY (tonf)	FZ (tonf)
Dead load (DL)	0.00	0.00	18.35
Live load (LL)	0.00	0.00	6.12
QML	0.00	0.00	9.45
Wind (W)	0.00	-3.21	-1.85
Seismic (Ex)	-22.40	0.00	0.00

Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Estas reacciones son críticas para el diseño de la cimentación y los anclajes.

Mesas de impacto

Las mesas de impacto son elementos fundamentales para salvar la FT. Su función es disminuir el deterioro y proteger la cinta de daños al absorber la energía del mineral que cae desde los alimentadores. Este sistema de amortiguamiento tiene como objetivo evitar que la cinta se rompa, rasgue o perfore al distribuir la fuerza del impacto sobre un área más extensa. Sin estas mesas, las fallas prematuras serían el resultado del impacto continuo del mineral pesado, lo que implicaría costosas interrupciones para mantenimiento y una reducción de la vida útil de la faja. La eficiencia y la rentabilidad de la operación dependen en gran medida de su adecuada instalación y mantenimiento.

A) Tipos de mesas

- Mesas 1 y 2: Soportan cargas dinámicas de impacto (Ci).

Tabla 13

Reacciones globales.

Estado de carga	Fx Tonf	Fy Tonf	Fz Tonf
DL0	0.00	0.00	17.49
DL1	0.00	0.00	6.48
DL2	0.00	0.00	3.13
(E+C)	0.00	0.00	45.20
LL	0.00	0.00	27.46
Ex	-13.72	0.00	0.00
Ez	0.00	-13.72	0.00
Ev	0.00	0.00	-6.56
Bop	1.88	0.00	-4.43
Bmax	0.00	0.00	4.82

Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Cargas consideradas en el diseño

El diseño estructural evidencia diversas clases de carga, que fueron combinadas utilizando el método LRFD (Load and Resistance Factor Design), el cual, según McCormac y Csernak (2012), constituye un parámetro estándar en la ingeniería contemporánea. Esta metodología emplea factores de seguridad y mayoración para asegurar que la estructura sea capaz de sostener cargas ambientales (como los sismos y el viento), las vivas (el mineral y el personal) y las muertas (su propio peso) sin riesgos. La mezcla de estas cargas posibilita un análisis exhaustivo de la estabilidad y la resistencia, garantizando que cada elemento estructural sea lo bastante sólido para funcionar sin fallas a lo largo de su vida útil. Para la confiabilidad y la seguridad de las operaciones mineras, esto es fundamental.

Tabla 14

Tipo de cargas aplicadas.

Carga	Símbolo	Descripción	Valor típico
Carga muerta	DL	Peso propio de la estructura	Variable
Sobrecarga operativa	LL	250–500 kgf/m² en pasarelas	250 kgf/m²
Material en movimiento	QML, QFL	Peso del mineral transportado	8.53 Tonf (QFL)
Impacto	Ci	25% del peso del material	7.80 Tonf

Viento	W	Presión lateral	1.85 Tonf
Sismo	Ex, Ez	Fuerzas horizontales	22.40 Tonf (Ex)
Montaje / Mantenimiento	Bop, Bmax	Carga de personal y equipos	Bop = -2.35 Tonf

Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Combinaciones de carga según LRFD

Las combinaciones de carga se basan en el AISC 360-10 y el UBC 1997. Las principales son:

Tabla 15

Tipo de combinaciones de carga.

Combinación	**Formula**
1.4 DL	Carga muerta
1.2 DL + 1.6 LL + 0.5 Lr	Operación normal
1.2 DL + 1.0 E + 1.0 LL + 0.2 S	Escenario sísmico
0.9 DL + 1.0 W	Viento como carga principal

Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Estas combinaciones se aplicaron para verificar la resistencia de todos los elementos estructurales.

Tabla 16

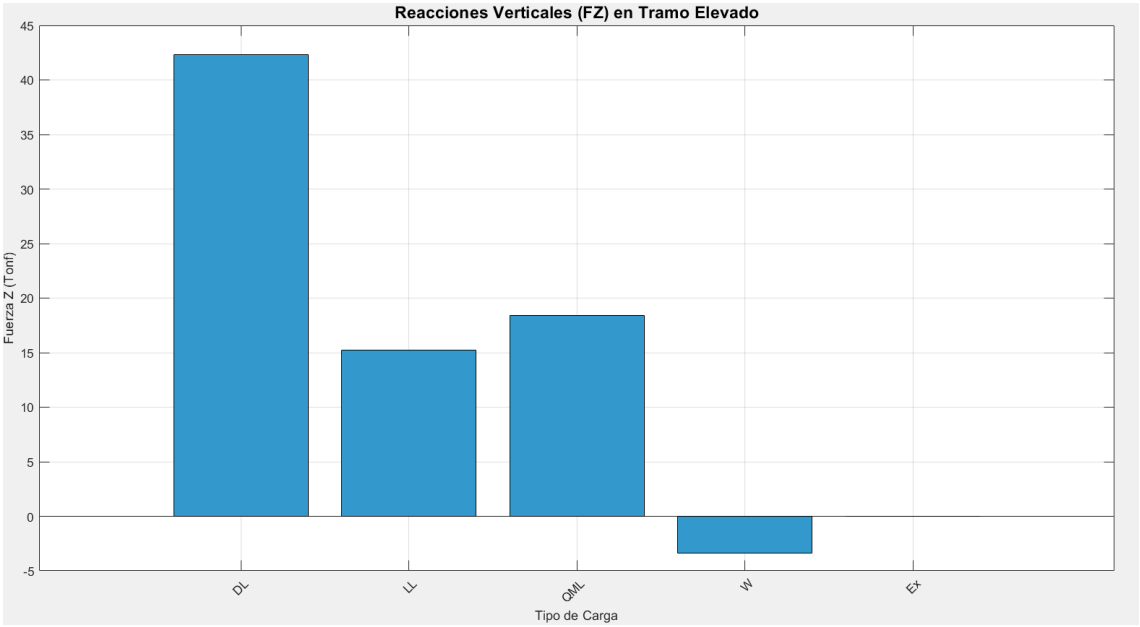
Relaciones globales en tramo elevado completo.

Carga	FX (tonf)	FY (tonf)	FZ (tonf)
DL	0.00	0.00	42.30
LL	0.00	0.00	15.20
QML	0.00	0.00	18.40
W	0.00	-6.70	-3.40
Ex	**38.60**	**0.00**	**0.00**

Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Figura 14

Gráfico de reacciones estructurales.



Nota. Elaboración propia.

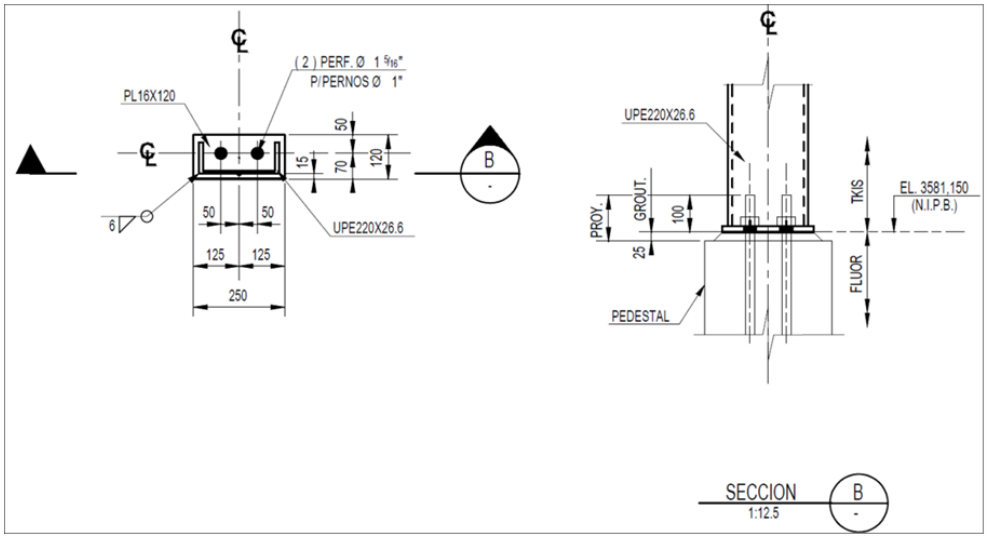
Placa base y conexiones estructurales

Las placas base son elementos esenciales que funcionan como puente entre la cimentación de concreto y la estructura metálica. Su función principal es, de manera uniforme y segura, transferir y distribuir las cargas estructurales (incluyendo el peso propio, las cargas del mineral y las fuerzas ambientales) a la cimentación. El diseño y el montaje de estas placas son fundamentales, porque un error en esta etapa podría poner en peligro la estabilidad de toda la cinta transportadora. Una transferencia adecuada de cargas garantiza que la estructura permanezca estable y operativa con el paso del tiempo, lo cual asegura la seguridad y la continuidad de las operaciones.

A) Placa base para mesas tipo

Figura 15

Placa base para mesas tipo.



Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

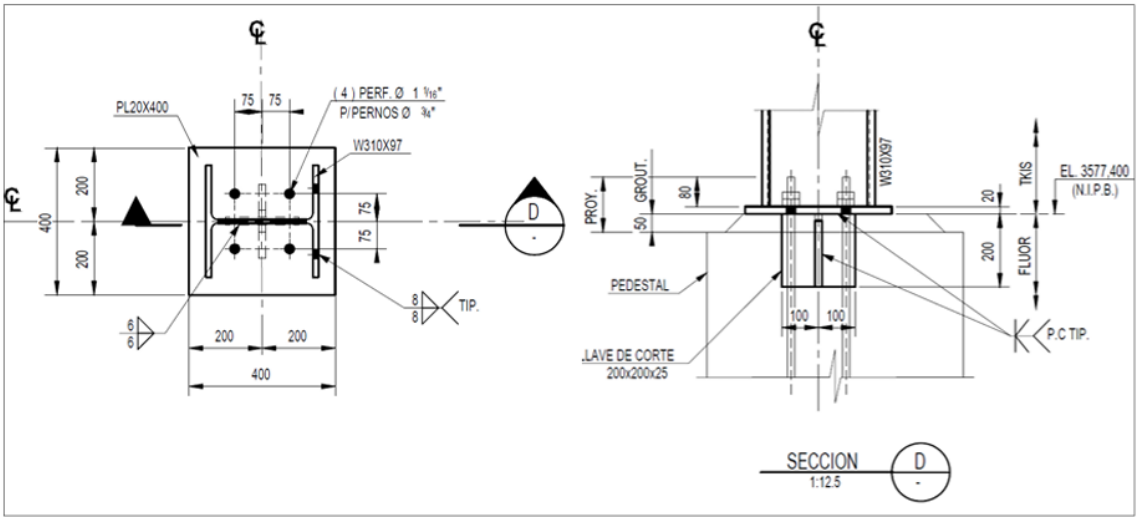
- Dimensiones: 600 mm x 600 mm x 25 mm
- Anclajes: 4 pernos de 1” diámetro

- Material: ASTM A36

B) Placa base para columnas de EST.01

Figura 16

Placa base para columnas.



Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

- Dimensiones: 800 mm x 800 mm x 30 mm
- Anclajes: 8 pernos de 1.25” diámetro

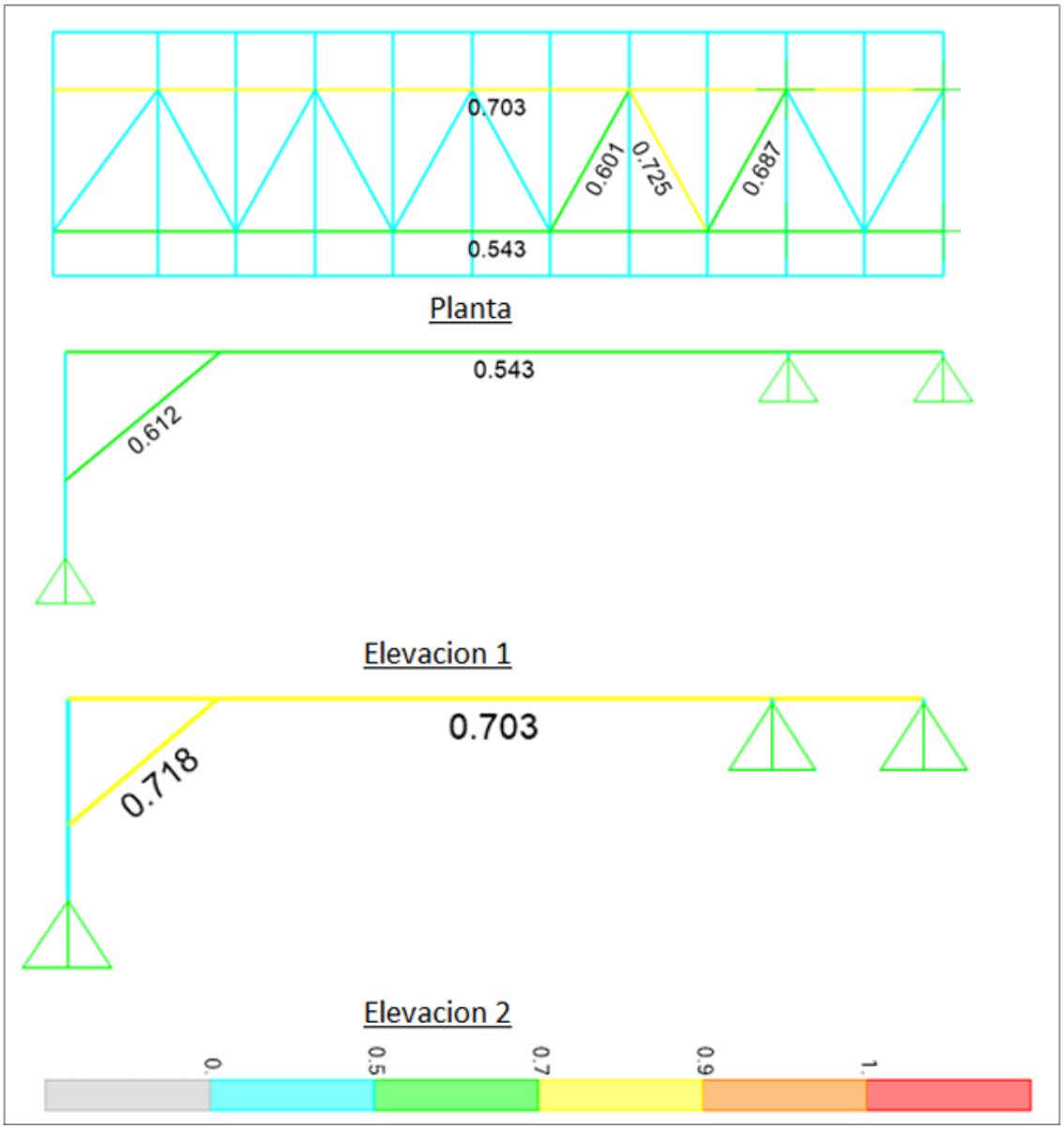
Factor de utilización estructural

El factor de utilización (UR) señala cuán próximo se encuentra un elemento de lograr su capacidad máxima. Cuando los valores son menores a 1.0, el diseño es seguro.

A) Factores de utilización máximos

Figura 17

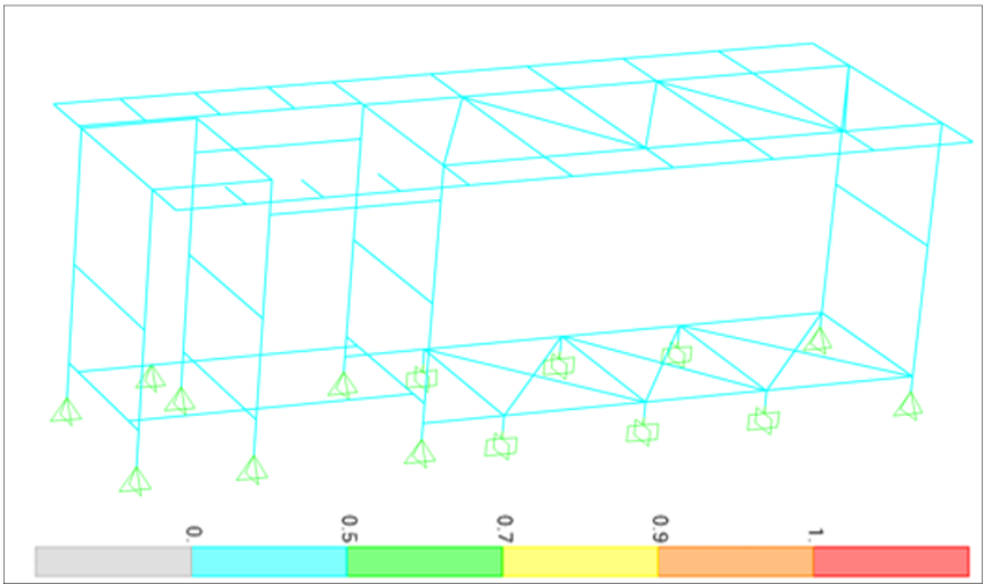
Enrejados ENR.01 (0.89).



Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Figura 18

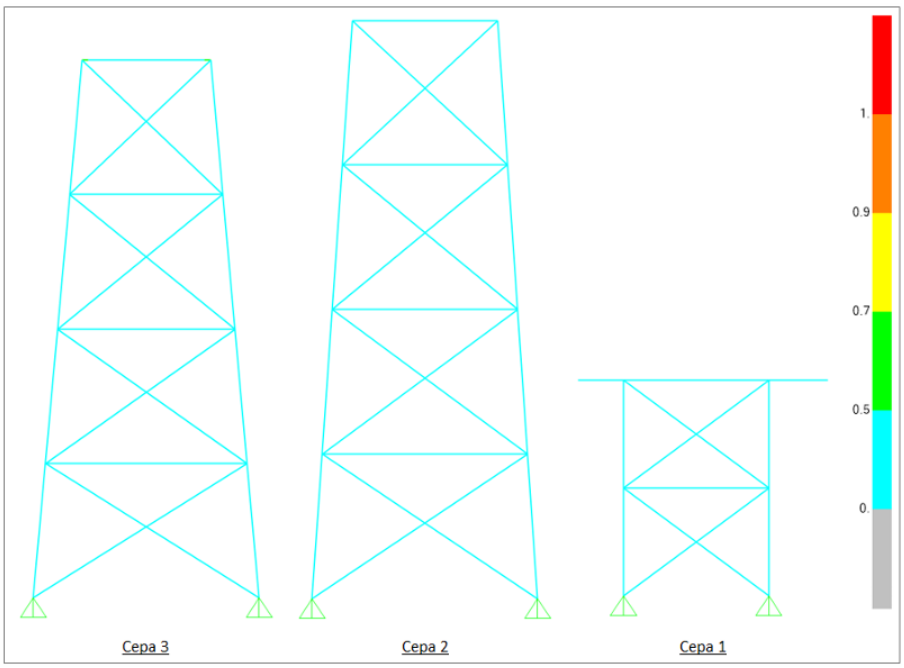
Columnas EST.01 (0.92).



Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Figura 19

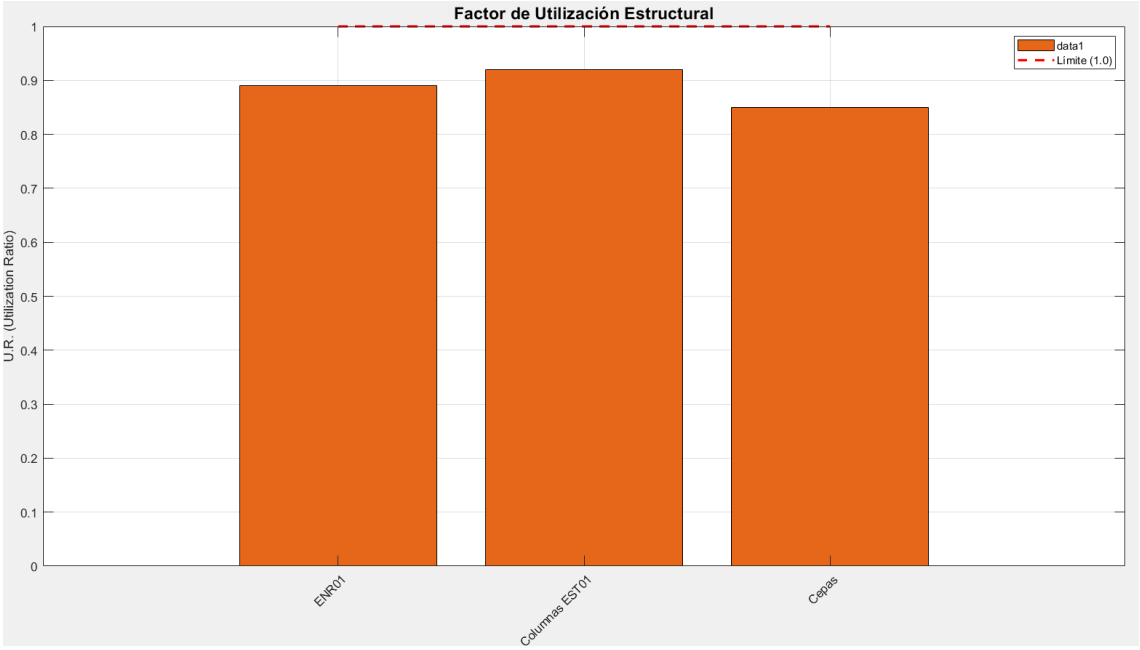
Cepas (0.85).



Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Figura 20

Gráfico del factor de utilización.



Nota. Elaboración propia

El análisis estructural indica que todos los componentes están dentro del rango seguro, lo que significa que el diseño de la FT se ajusta a las normas de rendimiento y seguridad. Esto quiere decir que la estructura puede resistir todos los tipos de cargas, sean operativas, sísmicas o ambientales, sin el peligro de que se produzca alguna falla. El diseño, los materiales y la metodología LRFD empleados son los correctos para asegurar que el equipo se mantenga íntegro a largo plazo, como lo confirma el resultado. En resumen, la faja está hecha para operar de forma confiable y segura, reduciendo el peligro de accidentes y paradas no previstas.

3.4.4. Estimar el tiempo de detención mediante operaciones manuales de las fajas transportadoras 3140-CV-002.

El propósito de la investigación fue establecer la forma en que la automatización impacta el tiempo que llevan las tareas de mantenimiento, con el fin de encontrar posibilidades para mejorar la eficiencia operativa y disminuir los periodos de inactividad. Calcular el tiempo de detención actual de esta FT, en los procedimientos de mantenimiento manuales, fue una meta secundaria pero esencial. Este análisis exhaustivo fue la línea de base para cotejar la eficiencia futura de un sistema automatizado. En definitiva, el objetivo es demostrar las ventajas que tiene la tecnología para optimizar la productividad en la industria minera.

Este análisis fue fundamental, dado que las paradas no programadas o manuales afectan directamente la disponibilidad operativa del sistema de transporte de mineral y disminuyen la eficacia del proceso productivo. En particular, la faja 3140-CV-002 es un vínculo estratégico que un área de transferencia con el molino SAG, una fase crucial en el proceso productivo. Su cese no solamente interrumpe el flujo de materiales, sino que además produce pérdidas financieras importantes en la cadena de valor debido al estancamiento de toda la operación río abajo. En consecuencia, es fundamental optimizar los tiempos de mantenimiento y disminuir la inactividad para asegurar una producción continua y rentable. La investigación tiene como objetivo reducir estos peligros mediante la automatización.

La metodología se basó en los datos técnicos suministrados en la memoria de cálculo de thyssenkrupp Industrial Solutions (2019). Asimismo, se emplearán métodos de análisis como la revisión documental, la simulación digital con programas específicos como SAP2000 y Navisworks, así como la observación en campo. Este enfoque de múltiples facetas posibilitó una estimación precisa y minuciosa del tiempo de inactividad,

estableciendo las bases para estudios futuros sobre optimización a través de controles automáticos y ayudando a una planificación más eficiente del mantenimiento en el proyecto minero Quellaveco.

Caracterización técnica de la FT 3140-CV-002

El cálculo del tiempo de detención manual se basó directamente en la Memoria de Cálculo Estructural (tkIS, 2019), que es un documento fundamental que incluye todos los datos relacionados con el diseño y el análisis que sustentan la seguridad y viabilidad de la estructura. Esta perspectiva aseguró que la medición de las duraciones del mantenimiento sea exacta y esté en línea con las especificaciones originales de ingeniería. La investigación garantizó la validez técnica de los resultados y su importancia para el proyecto Quellaveco, fundamentándose en este documento oficial. Se requirió una estación de caracterización exhaustiva para determinar cada etapa del proceso de mantenimiento y detención, estableciendo así las bases para futuras comparaciones con procesos automatizados.

Datos generales del sistema

El sistema de transporte de mineral 3140-CV-002, un transportador interno diseñado para funcionar en condiciones mineras rigurosas es conocido como FT. En la tabla a continuación se sintetizan sus especificaciones técnicas más relevantes:

Tabla 17

Características técnicas generales de la faja 3140-CV-002.

Parámetro	Valor
Número de identificación	3140-CV-002
Ancho de banda	72 pulgadas (1.83 m)
Longitud total	248 metros
Capacidad de transporte	2.800 toneladas por hora (tph)
Tipo de operación	Faja elevada con tramos inclinados y horizontales
Ubicación funcional	Conecta zona de transferencia con molino SAG
Sistema tensor	Torre gravitacional (EST.02)
Sistema motriz	EST.01 (con poleas deflectoras y carro tensor)
Normativa de diseño	AISC 360-10

Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Para comprender la complejidad del sistema, es esencial entender las especificaciones técnicas de la FT 3140-CV-002. Esta información muestra los puntos críticos que deben ser tratados con exactitud durante una detención manual. Por citar un caso, el sistema de frenado, el tipo de motor y la tensión de la banda son elementos esenciales que pueden poner en riesgo la seguridad y la integridad del equipo si se maneja incorrectamente. Entender con detalle estos aspectos posibilita un cálculo exacto del tiempo necesario para cada etapa de la detención, desde el bloqueo eléctrico hasta el

aseguramiento mecánico. Este estudio fue fundamental para definir una línea de base estricta, que después posibilitará medir los beneficios de operaciones autónomas en el perfeccionamiento del mantenimiento.

Confiabilidad estructural

La faja 3140-CV-002 está formada por una serie de estructuras de soporte que se extienden a lo largo de todo su trayecto. la estructura principal consta de:

Enrejados (ENR.01 a ENR.05): estructuras tipo celosía que soportan el tramo de banda.

Cepas (Cepa 1, 2 y 3): soportes intermedios que transmiten cargas a la fundación.

Torre tensora (EST.02): estructura que aloja el sistema de tensado por gravedad.

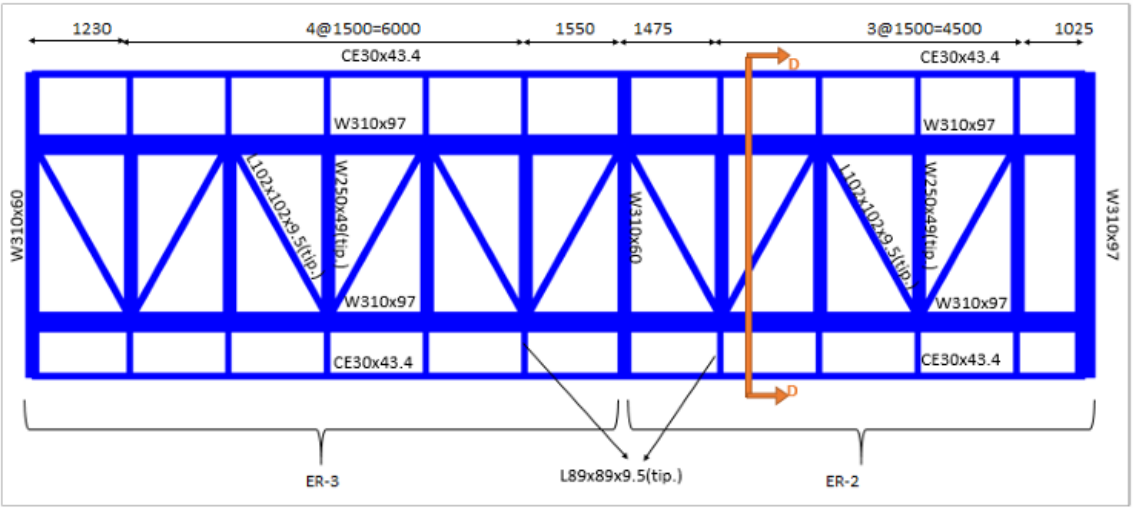
Sistema motriz (EST.01): conjunto de poleas, carro tensor y estructura de soporte.

Mesas de impacto y mesas tipo: puntos de soporte y control de caída del mineral.

La configuración se puede visualizar en las siguientes figuras:

Figura 21

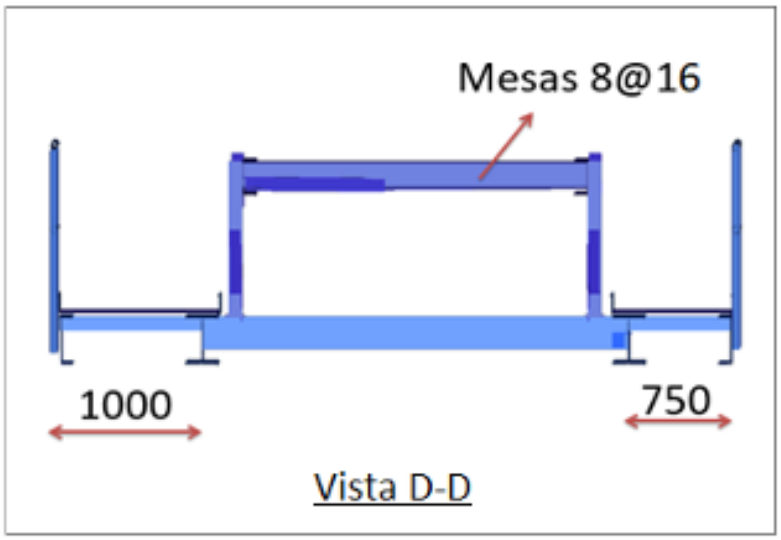
Planta ENR.03 y ENR.02.



Nota. Extraído *de Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019)

Figura 22

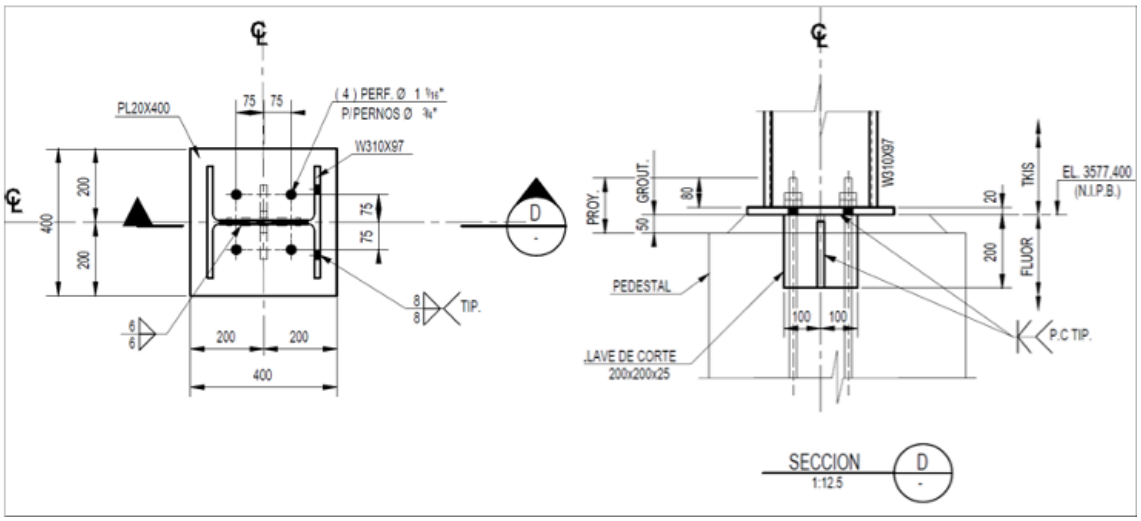
Sección AA Enrejados ENR.01, ENR.02 y ENR.03.



Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Figura 23

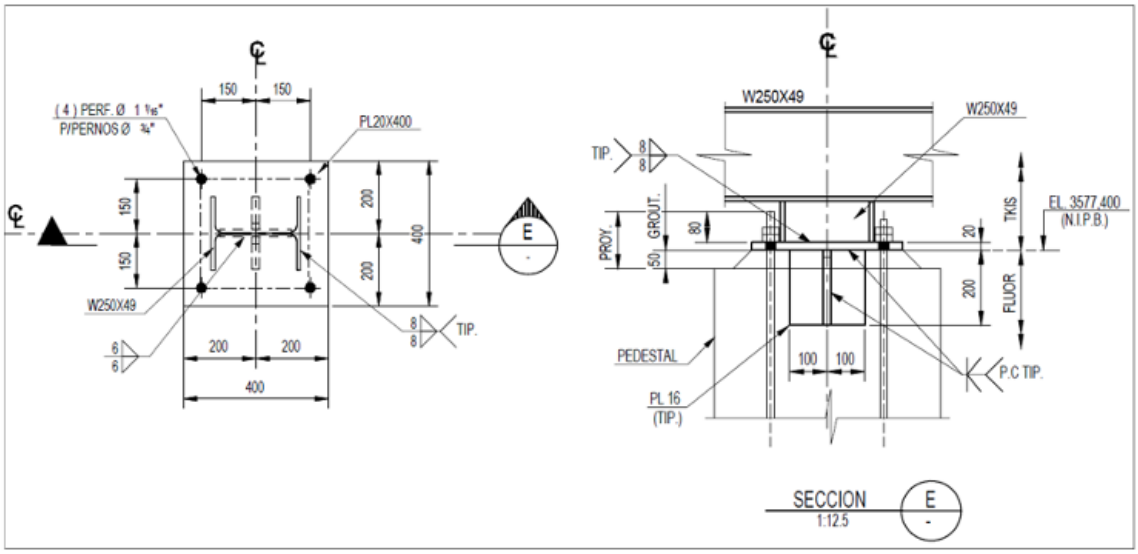
Placa Base Columnas de apoyo de las poleas deflectoras.



Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Figura 24

Placa Base apoyos vigas carro tensor.



Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Diseño y modelado estructural

La faja fue diseñada estructuralmente con el programa SAP2000, una herramienta de análisis y diseño estructural que se usa mucho en la ingeniería minera y civil. De acuerdo con el documento M5520D-030501-3140-CA-ES-0002 (2019), la estructura fue modelada empleando elementos de tipo FRAME, teniendo en cuenta:

Perfiles W para columnas y vigas.

Perfiles cajón para arriostramientos principales.

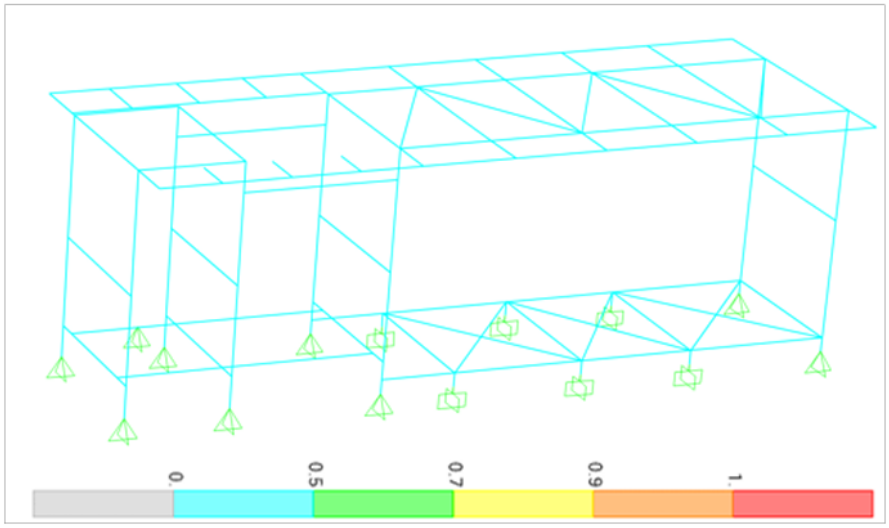
Perfiles ángulo para arriostramientos secundarios.

Uniones soldadas.

Asimismo, la verificación de los factores de uso de las siguientes figuras fue parte del análisis en SAP2000:

Figura 25

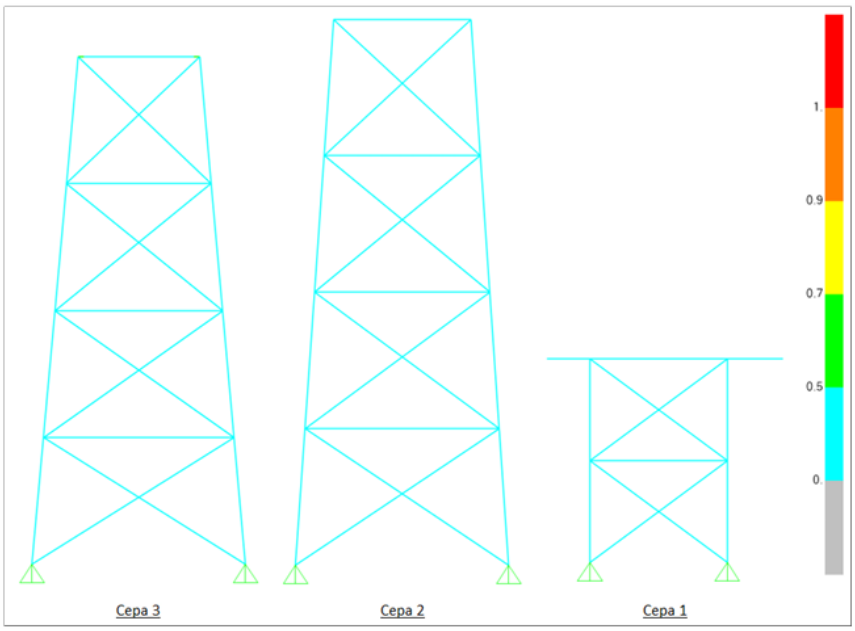
Factor de utilización de los perfiles pertenecientes a Estructura poleas deflectoras y carro tensor (EST.01).



Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Figura 26

Factor de utilización de los perfiles pertenecientes a las cepas.



Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Señalan la magnitud de esfuerzo en cada perfil en relación con su capacidad, dado que las estructuras con mucha carga necesitan una mayor precaución, estos elementos son esenciales para valorar la seguridad en intervenciones manuales.

Modelo y coordinación

El modelado integral fue posible con el uso de Navisworks, esta herramienta permitió integrar modelos estructurales (SAP2000), mecánicos y eléctricos, visualizar en 3D los puntos de acceso, escaleras, pasarelas y equipos críticos, rutas de intervención y tiempos de desplazamiento del personal similares y detectar interferencias y optimizar el acceso a zonas de difícil alcance.

Fue fundamental para lograr diagramar las actividades y subprocesos del proceso de detención, lo que permitió obtener fundamentalmente una estimación realista de los tiempos operativos, los resultados numéricos obtenidos sirven como base para definir fases de intervención y estimar distancias, así como alturas y accesorios.

Manual de procedimiento estándar de detención

Una detención manual implica que el sistema transportador se detenga y que sea necesaria la intervención directa de un ser humano en uno o más lugares del sistema, sin que haya un sistema automatizado capaz de ejecutar la secuencia de manera autónoma o a distancia. Esta circunstancia tiende a ocurrir en mantenimiento correctivo o preventivo, emergencias operativas, ajustes de tensión o alineación e inspecciones técnicas programadas.

Secuencia de operaciones

El proceso de detención manual se dividió en diez etapas cruciales, cada una con tiempos previstos y responsables designados.

Tabla 18

Secuencia de operaciones para la detención manual de la faja 3140-CV-002.

Fase	Actividad	Responsable	Tiempo estimado	Herramientas
1	Recepción de orden de detención	Operador de control	2 - 5	Radio, sistema SCADA
2	Coordinación con áreas interconectadas	Supervisor	5 - 8	Radio, lista de verificación
3	Activación de parada de emergencia (E-Stop)	Operario en campo	1 - 2	Botón E-Stop (local)
4	Tiempo de frenado físico	Automático	3 - 5	Sistema de frenado
5	Aislamiento eléctrico (LOTO en EST.01)	Electricista	10 - 15	Kit LOTO, candados
6	Bloqueo mecánico del tensor (EST.02)	Mecánico	10 - 12	Herramientas manuales
7	Verificación de estado de la banda	Mecánico	8 - 10	Linterna, lista de verificación
8	Inspección de enrejados y mesas	Técnico	10 - 15	Escalera, EPP

9	Confirmación de liberación para mantenimiento	Supervisor	5 - 8	Formato de liberación
10	Registro de paradas	Operador	2 - 3	Sistema de mantenimiento

Nota. Rescatado de *manuales técnicos, procesos internos, y reglamentación (2019-2024)*

Se obtuvo que el total acumulado es de 56 – 83 minutos, este desglose muestra que más del 60% del tiempo se consume en actividades de seguridad, bloqueo y verificación, lo que subraya la importancia de automatizar estos procesos.

Personal y equipos involucrados

La intervención requiere la participación de al menos 4 personas:

- 1 operador de control
- 1 supervisor de turno
- 1 electricista
- 1 mecánico

Se utiliza equipos como kits LOTO, herramientas manuales, radios de comunicación y EPP completo (casco, arnés, guantes, etc.).

Simulación del procedimiento

El modelo 3D analizado permite simular la ruta que sigue el personal desde el punto de control hasta los puntos críticos (EST.01, EST.02, ENR.01), mediante esta simulación se pudo estimar:

1. Distancia recorrida.
2. Tiempo de desplazamiento.
3. Accesibilidad a puntos elevados.
4. Interferencias con otros equipos.

Este análisis fue clave para validar los tiempos estimados y optimizar los procedimientos futuros.

Estimación de tiempos por fase

La estimación de tiempos se realizó tomando como base una combinación de:

1. Revisión documental
2. Observación directa
3. Entrevistas a personal operativo
4. Simulación
5. Benchmarking con otras operaciones mineras

A continuación, se analizaron las primeras cinco fases del proceso.

- Fase 1: Recepción de orden de detención

Esta etapa comienza en el momento en que el operador de control centraliza la orden de detención. La facilidad de comunicación y la disponibilidad del supervisor determinan el tiempo.

1. Tiempo mínimo: 2 min (orden clara, personal disponible)
2. Tiempo máximo: 5 min (retrasos en comunicación)

- Fase 2: Coordinación con áreas interconectadas

Para prevenir vacíos o sobrecargas, es informar con precisión al molino SAG y a la zona de transferencia.

1. Se utilizan radios o sistemas SCADA.
2. Incluye confirmación de recepción.
3. Tiempo estimado: 5 - 8 min

- Fase 3: activación de parada de emergencia

El operador activa el botón E-Stop en el terreno. Este procedimiento es inmediato, aunque necesita desplazarse.

1. Distancia promedio a la parada de emergencia más cercana: 40 m
2. Velocidad de caminata en planta: 1,2 m/s
3. Tiempo de desplazamiento: ~33 segundos
4. Tiempo de activación: 10 segundos
5. Total: 1-2 minutos

- Fase 4: Tiempo de frenado físico

Una vez activado el E-Stop, la faja debe detenerse por inercia. Este tiempo depende de:

1. Distancia promedio a la parada de emergencia más cercana: 40 m
2. Velocidad de caminata en planta: 1,2 m/s
3. Tiempo de desplazamiento: 33 segundos
4. Tiempo de activación: 10 segundos
5. Total: 1-2 minutos

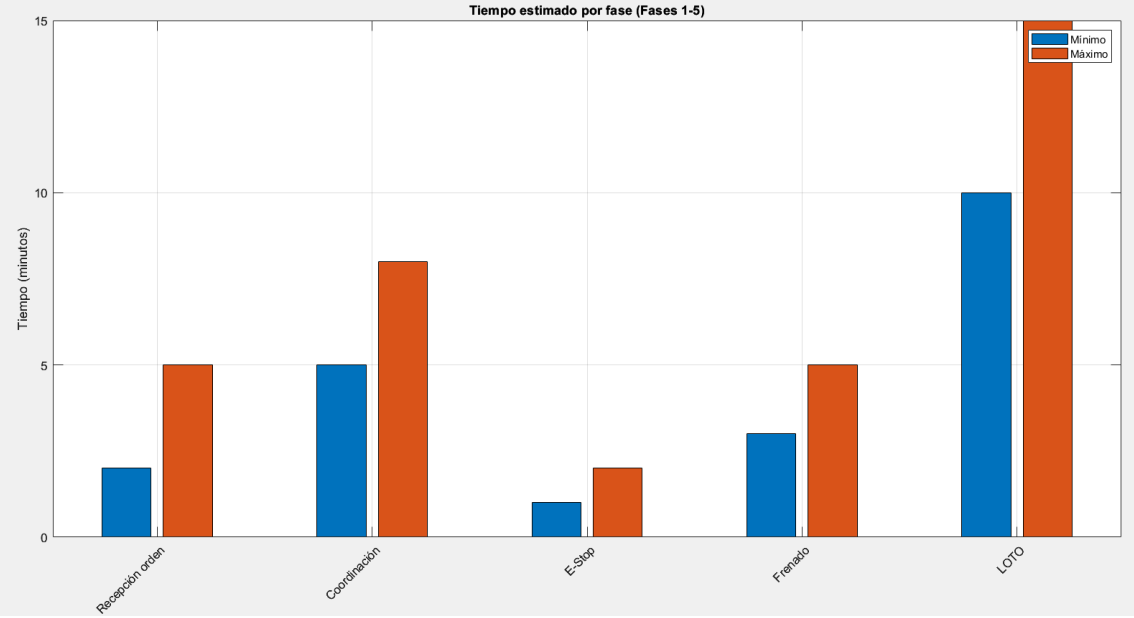
- Fase 5: Aislamiento eléctrico (LOTO en EST.01)

Esta es una de las fases más críticas. El electricista debe:

1. Localice el tablero eléctrico de EST.01.
2. Aplicar candados y etiquetas (LOTO).
3. Verifique la ausencia de voltaje.
4. Tiempo estimado: 10 - 15 min

Figura 27

Tiempos estimados por fase (1-5).



Nota. Elaboración propia

- Fase 6: Bloqueo mecánico del tensor (EST.02)

El sistema tensor de la faja 3140-CV-002 es gravitacional y se encuentra en la torre EST.02, que tiene una altura aproximada de 12 metros. Para sostener la tensión apropiada de la banda, este sistema emplea un contrapeso de 8,5 toneladas.

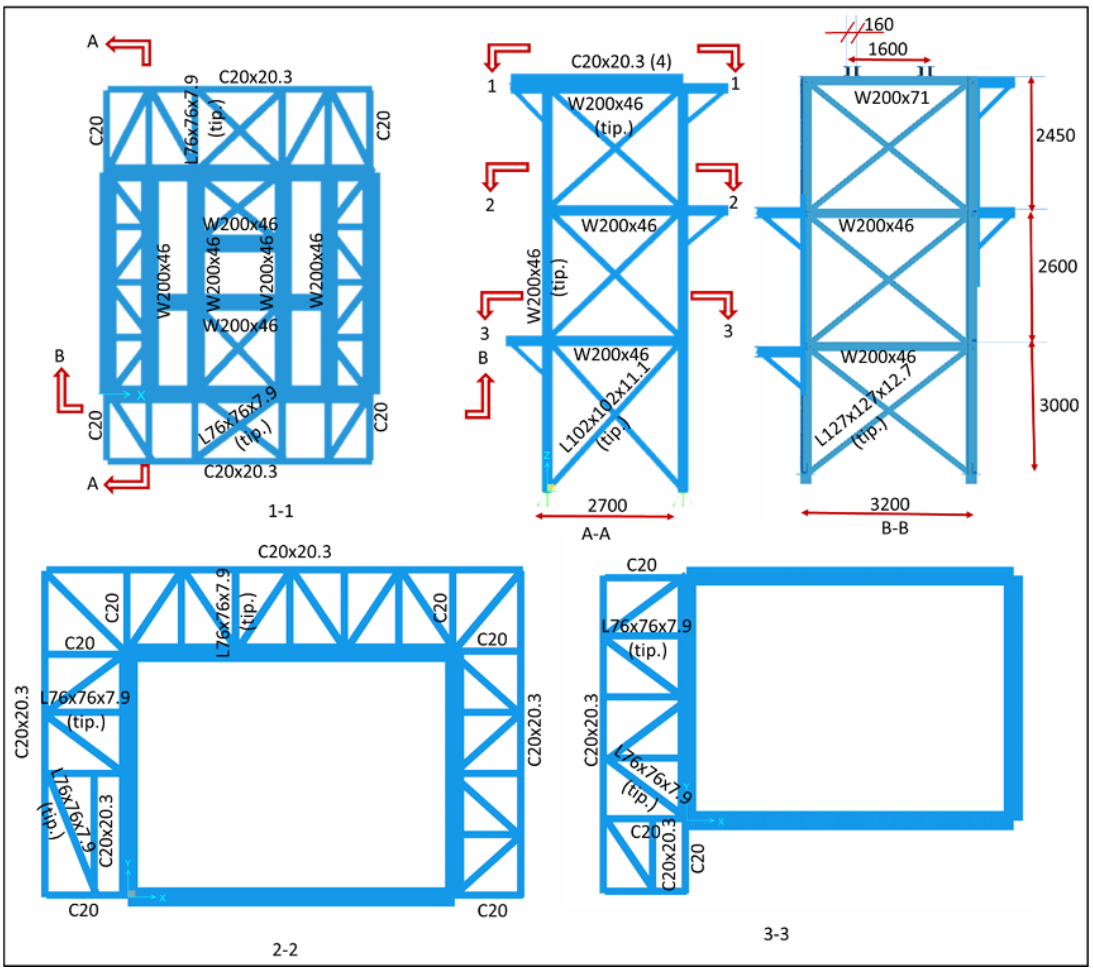
Durante una detención manual, es crítico bloquear mecánicamente el tensor del carro para evitar movimientos inesperados durante el mantenimiento.

Procedimiento de bloqueo

1. Acceso a la torre tensora (EST.02) mediante escalera o pasarela.
2. Verificación visual del estado del contrapeso y cables.
3. Aplicación de pernos de bloqueo en el carro tensor.
4. Colocación de soportes temporales (si aplica).
5. Confirmación por supervisor de seguridad.

Figura 28

Perfiles y dimensiones de la Torre de Contrapeso (EST.02).



Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Tiempo estimado

1. Acceso y ascenso: 3 - 5 min
2. Inspección visual: 3 - 4 min
3. Bloqueo mecánico: 4 - 8 min
4. Total: 10 - 12 minutos

- Fase 7: Verificación de estado de la banda

Una vez detenida la faja, se realiza una inspección preliminar de la banda para identificar daños superficiales, desalineaciones o desgaste en las uniones.

Actividades incluidas

1. Revisión de la superficie de la banda.
2. Inspección de uniones (empalmes).
3. Verificación de alineación en poleas y mesas.
4. Registro de hallazgos en formato de campo.

Tiempo estimado

1. Revisión visual (tramo elevado): 5 - 8 min
2. Revisión (tramo horizontal): 3 - 7 min
3. Total: 8 - 10 minutos

- Fase 8: Inspección de enrejados y mesas

Esta fase implica una revisión estructural visual de los elementos soportantes: enrejados (ENR.01 a ENR.05), mesas tipo, mesas de impacto y cepas.

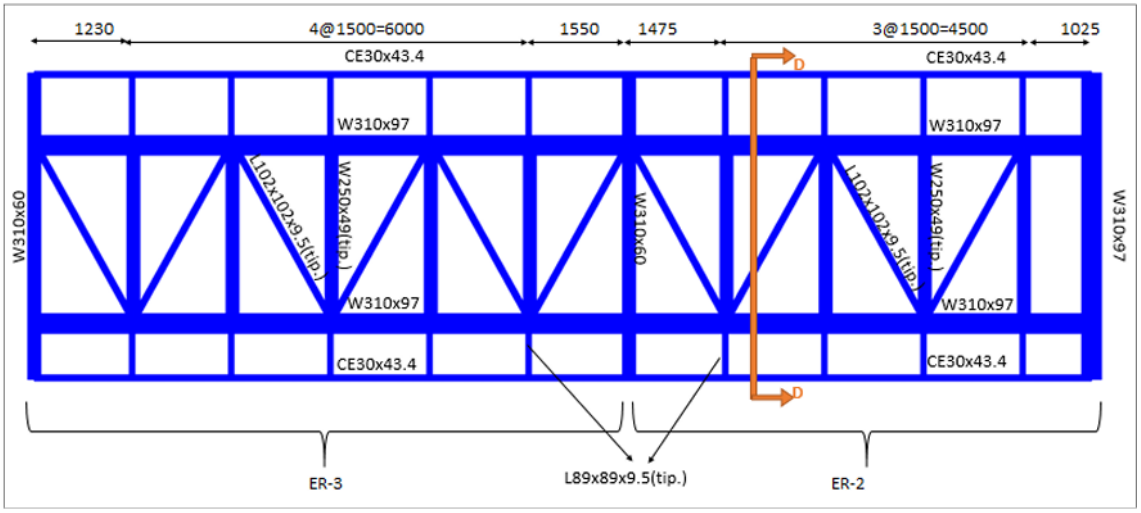
Elementos inspeccionados

1. Soldaduras críticas.
2. Corrosión o deformaciones.

3. Estado de pasamanos y escaleras.
4. Fijaciones de pernos y placas base.

Figura 29

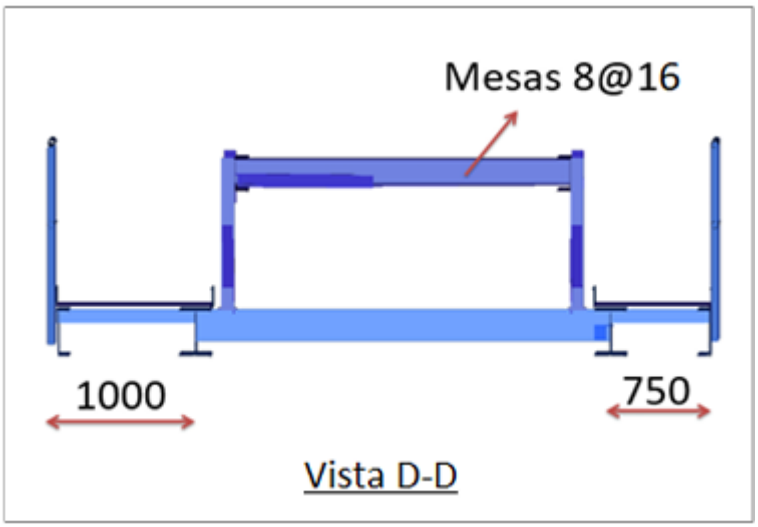
Planta ENR.03 y ENR.02.



Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

***Figura* 30**

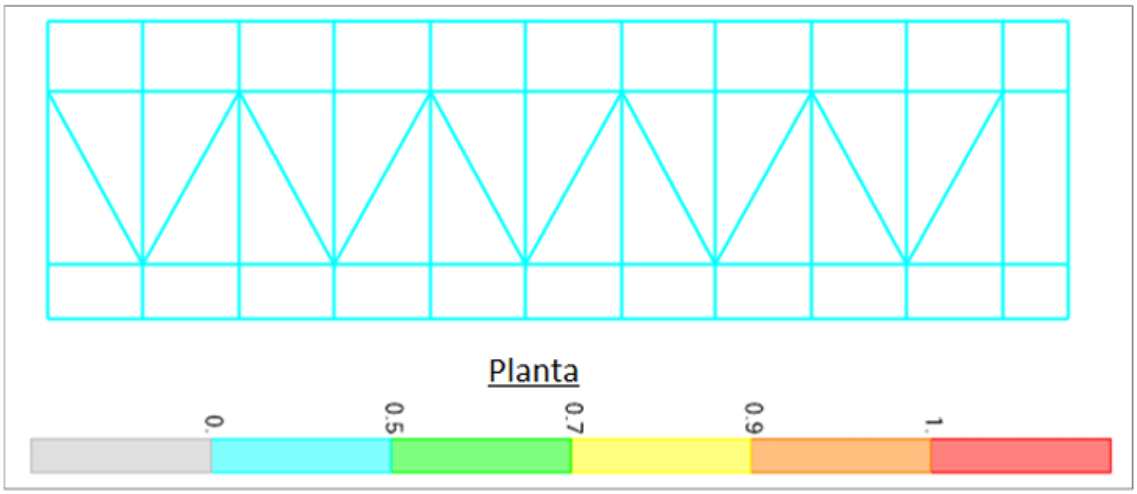
Sección AA Enrejados ENR.01, ENR.02 y ENR.03.



Nota. Extraído *de Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Figura 31

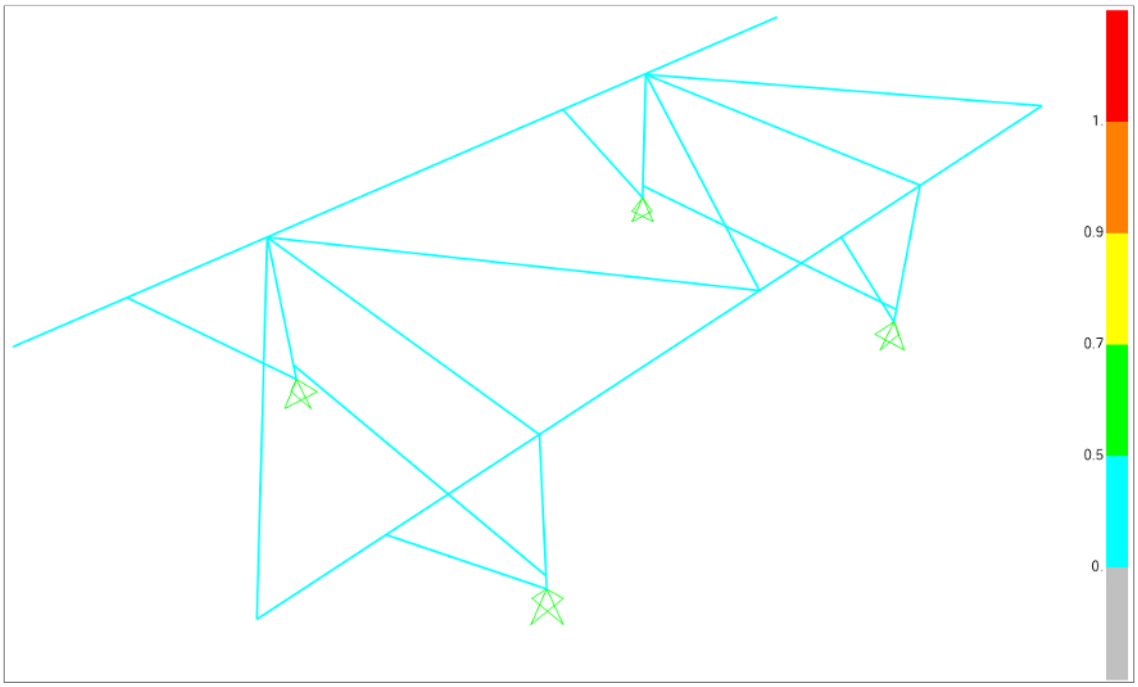
Factor de utilización de los perfiles pertenecientes a enrejado ENR.02 y ENR.03.



Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Figura 32

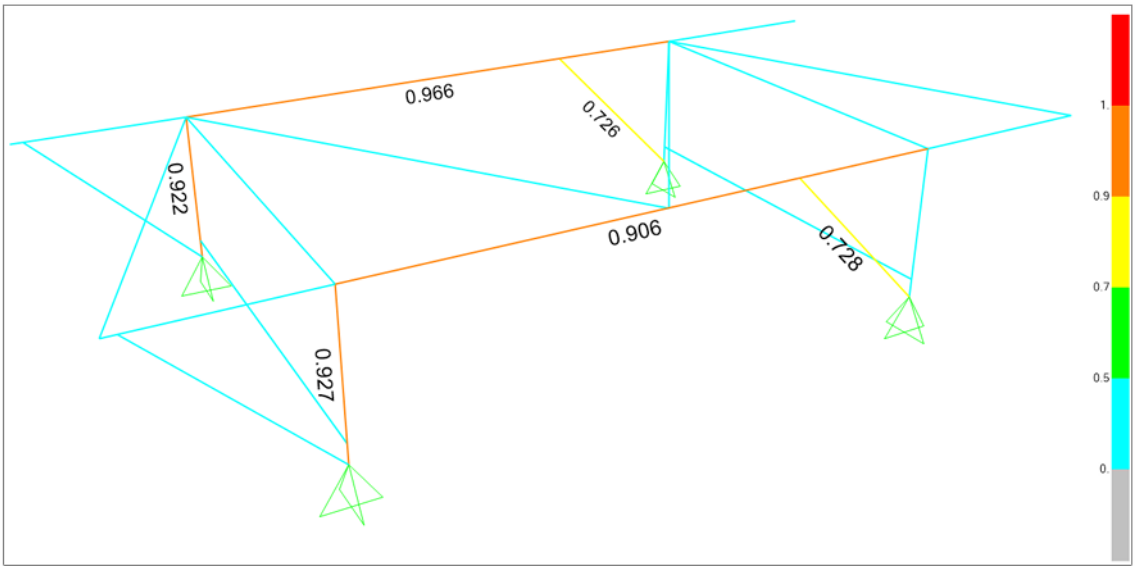
Factor de utilización de los perfiles pertenecientes a mesas tipo.



Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019)

Figura 33

Factor de utilización de los perfiles pertenecientes a mesas de impacto.



Nota. Extraído *de Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Estas figuras muestran la configuración estructural y los factores de utilización.

Tiempo estimado

1. Inspección de enrejados: 6 - 9 min
2. Inspección de mesas: 4 - 6 min
3. Total: 10 - 15 minutos

- Fase 9: Confirmación de liberación para mantenimiento

Antes de iniciar cualquier trabajo, se requiere la liberación formal por parte del supervisor, tras verificar que:

1. El sistema está eléctrica y mecánicamente aislado.
2. Todos los LOTO están colocados.
3. El personal está capacitado y con EPP.

Tiempo estimado

1. Revisión de lista de verificación: 3 - 5 min
2. Firma de liberación: 2 - 3 min
3. Total: 5 - 8 minutos

- Fase 10: Registro de parada

Se registra la detención en el sistema de gestión de mantenimiento (CMMS), incluyendo:

1. Hora de inicio y fin.
2. Involucramiento personal.
3. Motivo de la parada.
4. Hallazgos preliminares.

Tiempo estimado

Registro en el sistema: 2 - 3 min

Estimación total del tiempo de detención manual

A continuación, se presenta el resumen completo del tiempo estimado para la detención manual de la faja 3140-CV-002.

Tabla 19

Resumen del tiempo de detención manual de la faja 3140-CV-002.

Fase	Actividad	Tiempo mínimo (Min)	Tiempo máximo (Min)
1	Recepción de pedidos	2	5
2	Coordinación con áreas	5	8
3	Activación E-Stop	1	2
4	Frenado físico	3	5
5	Aislamiento eléctrico (LOTO)	10	15
6	Bloqueo mecánico (EST.02)	10	12
7	Verificación de banda	8	10
8	Inspección de enrejados y mesas	10	15
9	Liberación para mantenimiento	5	8
10	Registro de paradas	2	3
Total		56	83

Nota. Rescatado de *manuales técnicos, procesos internos, y reglamentación* (2019-2024)

El tiempo promedio estimado es de 70 ± 15 minutos, este rango es coherente con tiempos reportados en otras operaciones mineras (60 – 90 min), según estudios del Society for Mining, Metallurgy & Exploration (SME, 2020).

Análisis de riesgos operativos

La detención manual implica exposición a múltiples riesgos. A continuación, se presenta un análisis basado en el diseño estructural y procedimientos de campo.

Tabla 20

Matriz de riesgos asociados a la detención manual.

Riesgo	**Probabilidad**	**Gravedad**	**Punto critico**	**Medida de control**
Atrapamiento entre banda y polea	Medios de comunicación	Alta	Poleas en EST.01	Bloqueo mecánico
Caída desde la altura	Alta	Alta	Torre EST.02, enrejados	Arnés, líneas de vida
Descarga eléctrica	Medios de comunicación	Alta	Tablero EST.01	LOTO estricto
Liberación de energía del contrapeso	Baja	Muy Alta	Tensor de carro	Pernos de seguridad
Comunicación deficiente	Alta	Medios de comunicación	Coordinación central-campo	Radios, lista de verificación

Nota. Rescatado de *manuales técnicos, procesos internos, y reglamentación* (2019-2024)

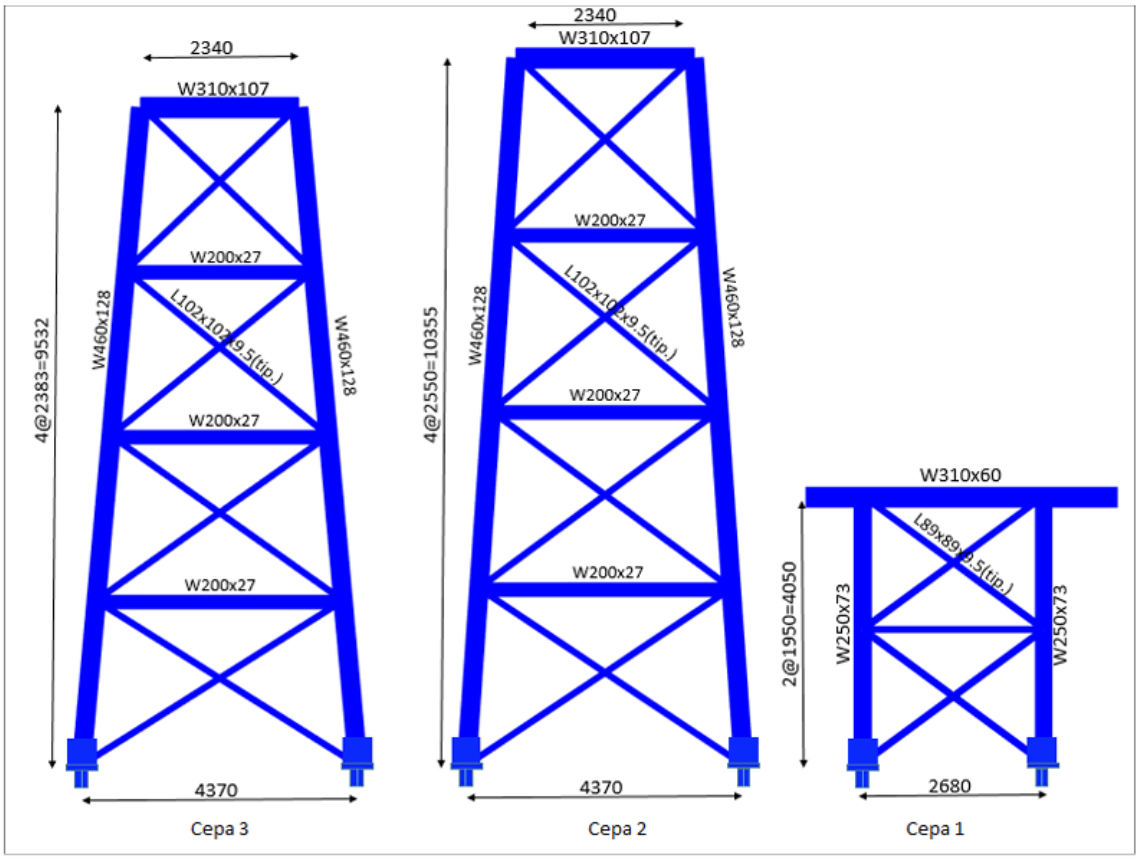
Influencia del diseño estructural en el tiempo de detención

El diseño de la faja 3140-CV-002, a pesar de ser fuerte, tiene limitaciones que afectan de manera directa el tiempo del parón manual.

- Accesibilidad limitada a puntos críticos
    1. Torre EST.02: ubicada a 12 m, sin plataforma de acceso rápido.
    2. Mesas de impacto: distribuidas a lo largo de 248 m, requieren múltiples desplazamientos.
    3. Cepas 1, 2 y 3: sin escaleras directas en algunos tramos.

Figura 34

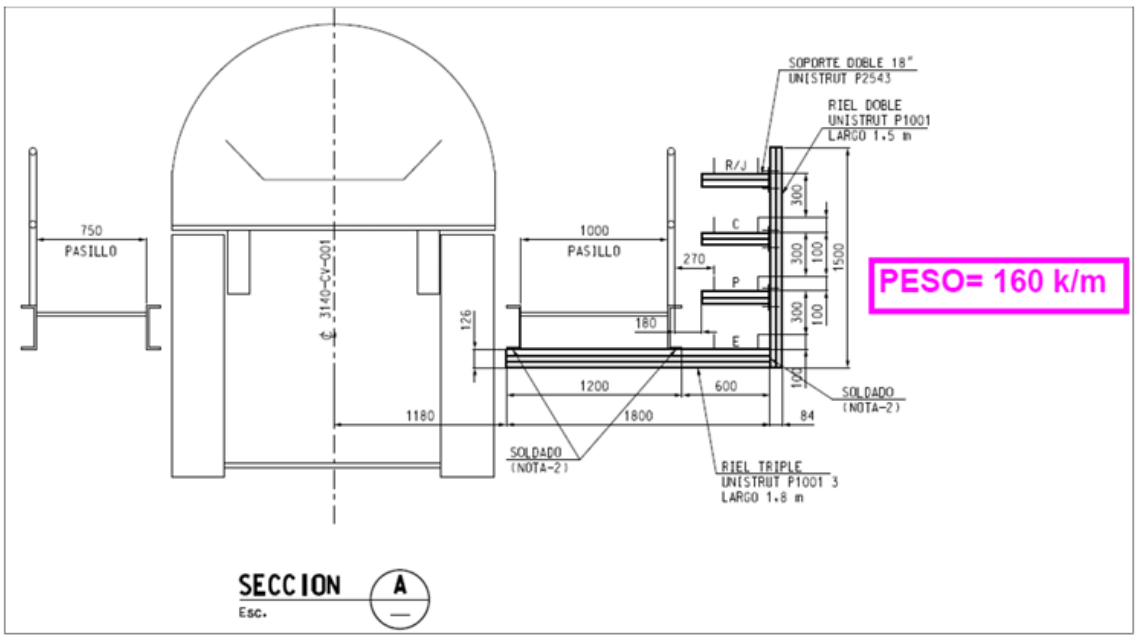
Cepas 1,2 y 3.



Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Figura 35

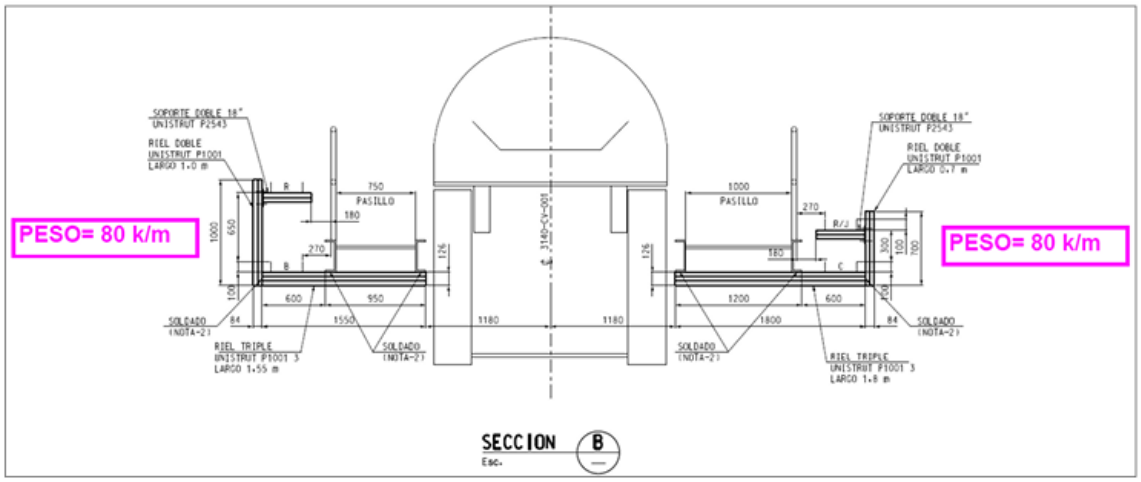
Distribución de escalerillas – Sección A.



Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Figura 36

Distribución de escalerillas – Sección B.



Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Factores de utilización y seguridad estructural

Según el análisis, los factores de utilización más críticos son:

Tabla 21

Factores de utilización máximos por componente.

Componente	Factor de utilización	Estado
Enrejados (ENR.01-03)	0,92	Cercano al límite
Columnas EST.01	0,92	Cercano al límite
Cepas	0,85	Seguro
Mesas tipo	0,80	Seguro
Mesas de impacto	0,75	Seguro

Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Estos valores indican que los enrejados y columnas de EST.01 están altamente cargados, lo que exige mayor precaución durante las intervenciones, incrementando el tiempo de inspección.

Validación de la estimación median

El uso de Navisworks permite simular el proceso completo de detención, validando los tiempos estimados.

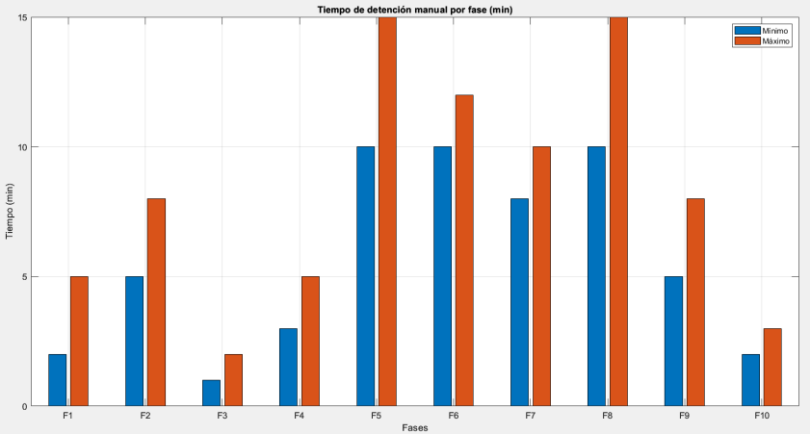
Simulación de rutas de intervención

1. Se modelaron las rutas desde el punto de control hasta EST.01, EST.02 y ENR.01.
2. Se calcularon distancias y tiempos de desplazamiento.
3. Se identifican cuellos de botella (ej. acceso a EST.02).
4. La simulación confirma que el tiempo de desplazamiento contribuye con 12% del tiempo total.

5. Esto permitió verificar la ubicación exacta de placas base, pernos y puntos de inspección.

Figura 37

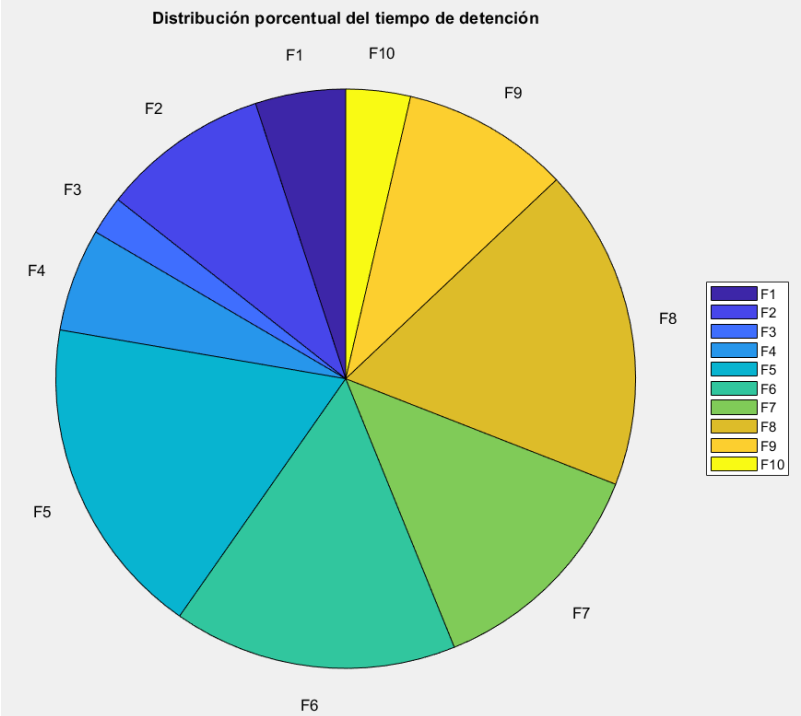
Tiempos estimados con fase.



Nota. Elaboración propia.

Figura 38

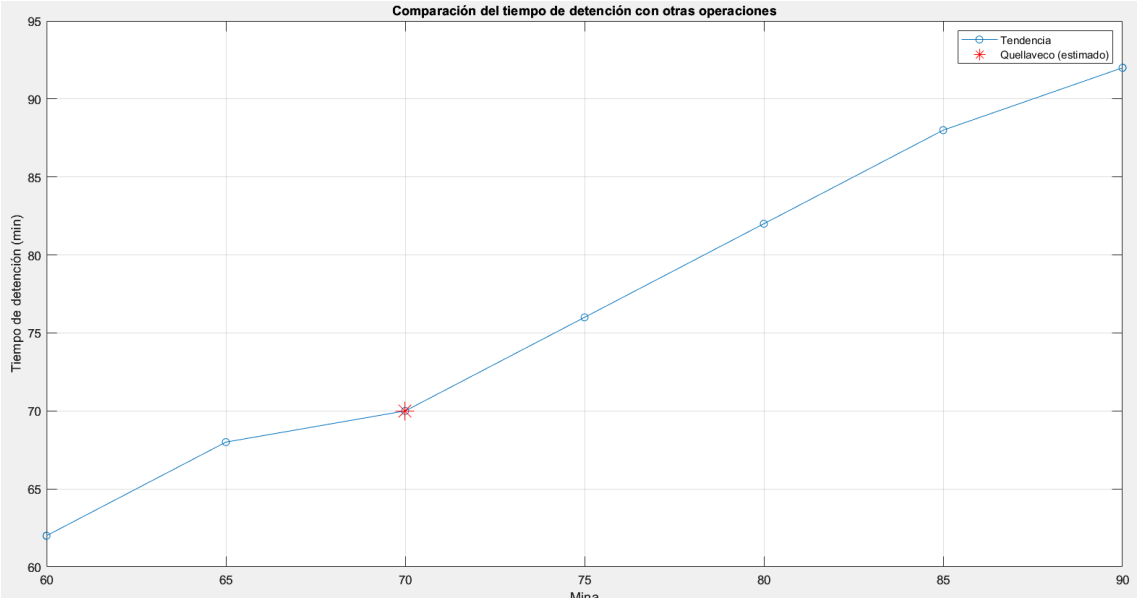
Distribución del tiempo de detención manual.



Nota. Elaboración propia.

Figura 39

Comparación con estándares industriales.



Nota. Elaboración propia.

La estimación de detención manual de la faja 3140-CV-002, basada en análisis técnico, revisión documental, simulación y validación operativa, arroja un tiempo promedio de 70 minutos, con un rango entre 56 y 83 minutos.

Este período es importante y supone una clara posibilidad de automatización, que podría disminuirlo en más del 50% a través de sistemas de parada remota, bloqueo automático y monitoreo digital.

Además, se ha dejado ver que el diseño estructural actual, aunque seguro, presenta limitaciones de accesibilidad que impactan negativamente en la eficiencia del mantenimiento. Por lo tanto, se recomienda avanzar hacia una modernización integral que combine controles automáticos, mejorando el diseño y digitalización de los procesos.

3.4.5. Estimar el tiempo de los procesos automatizados de detención de las fajas transportadoras 3140-CV-002.

El propósito de este objetivo específico fue calcular el tiempo de detención de la FT 3140-CV-002 en un contexto de automatización completa del proceso, haciendo una comparación directa con el escenario manual que se analizó antes (3.4.2). Un sistema automatizado facilita que el equipo se detenga de manera segura, rápida y coordinada a través de señales digitales, sensores y actuadores integrados; esto contrasta con la intervención humana.

Esta evaluación no solamente recorta el tiempo, sino que también plantea un modelo técnico factible de automatización fundamentado en la estructura de la faja actual y en instrumentos de simulación digital como MATLAB, Navisworks y SAP2000. El resultado fue un cálculo preciso del tiempo de detención automatizada, enfocado en la eficacia, seguridad y escalabilidad para las operaciones mineras actuales.

Concepto de automatización aplicado a fajas transportadoras

Como señalan Gao y Hou (2017), la automatización en las cintas transportadoras no es una tecnología emergente, sino un procedimiento firmemente arraigado en la minería avanzada. Esta disciplina consiste en integrar sistemas de control, sensores, actuadores y redes de comunicación para ejecutar operaciones críticas sin la necesidad de intervención humana directa.

En el caso de la detención de emergencia o programada, el funcionamiento autónomo permite:

1. Parada instantáneamente desde la central de control.
2. Aislamiento eléctrico automático.
3. Bloqueo mecánico del sistema tensor.

4. Verificación remota del estado de la banda.
5. Registro automático en el sistema CMMS.

Este método, al eliminar los retrasos causados por la coordinación, el desplazamiento y la verificación manual, disminuye de manera considerable el tiempo total de inactividad.

Diseño de un sistema automatizado para la faja 3140-CV-002

Se propuso un sistema automatizado de detección que se ajusta a la disposición física de la faja 3140-CV-002, basándose en el diseño estructural vigente. Este sistema no necesita cambios estructurales importantes, sino la modernización de los componentes clave con tecnología de control.

Tabla 22

Alcance del sistema propuesto.

Función	Automatizada	Justificación
Parada de emergencia	Si	Botones de parada de emergencia conectados a PLC
Aislamiento eléctrico	Si	Relés automáticos en tablero EST.01
Bloqueo del tensor (EST.02)	Si	Actuador hidráulico o neumático
Verificación de tensión	Si	Sensores de carga en cables del contrapeso.

Monitoreo de alineación	Si	Sensores ultrasónicos en mesas tipo
Registro de paradas	Si	Integración con CMMS
Liberación para mantenimiento	No	Requiere firma humana (seguridad)

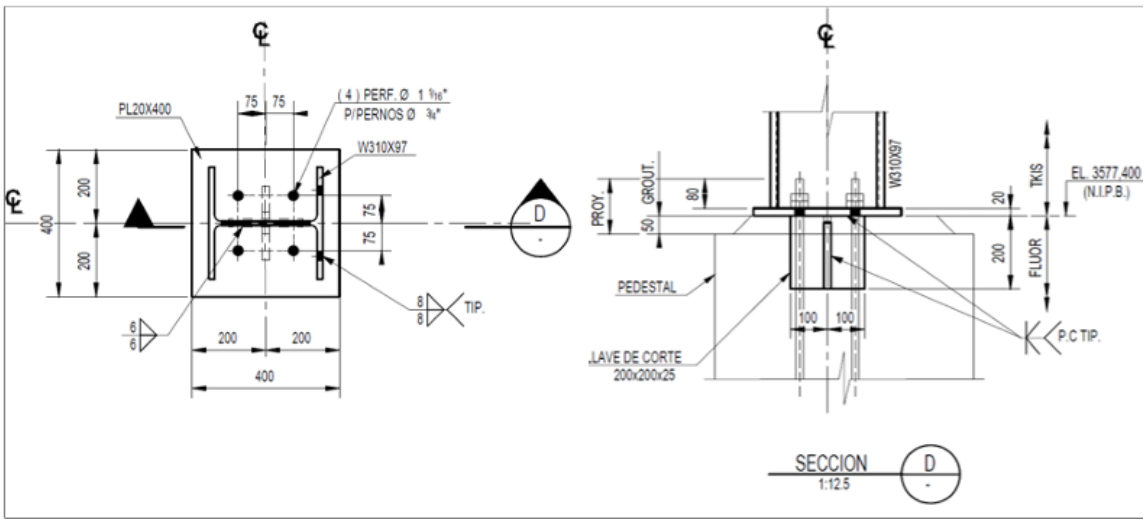
Nota. Elaboración propia con base en "buenas prácticas de automatización minera" (Rockwell Automation, 2021).

Integración con el diseño estructural existente

El sistema se integra sin afectar la integridad estructural, utilizando puntos ya modelados en SAP2000:

Figura 40

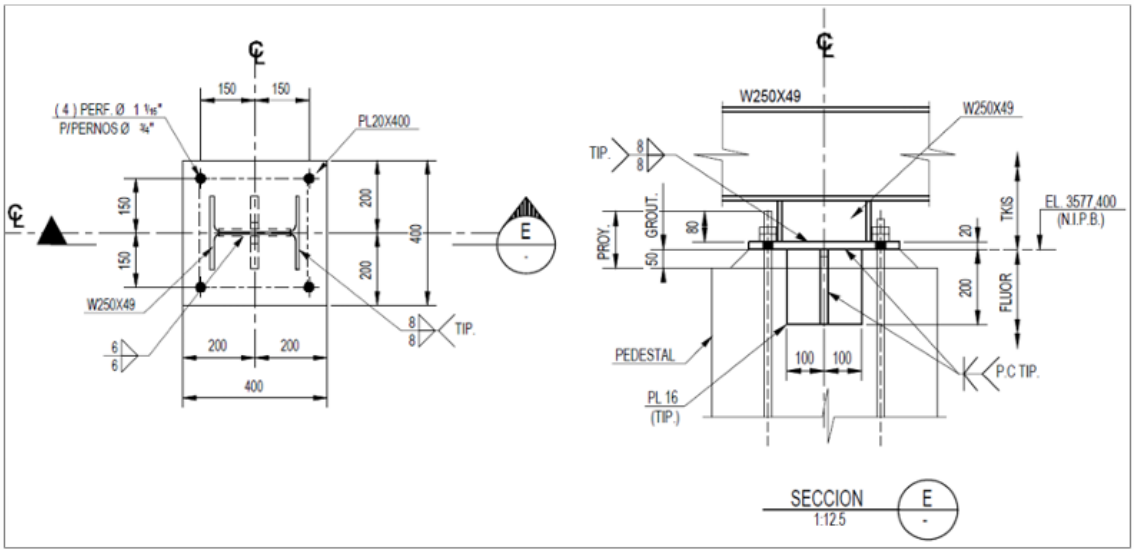
Placa Base Columnas de apoyo de las poleas deflectoras.



Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Figura 41

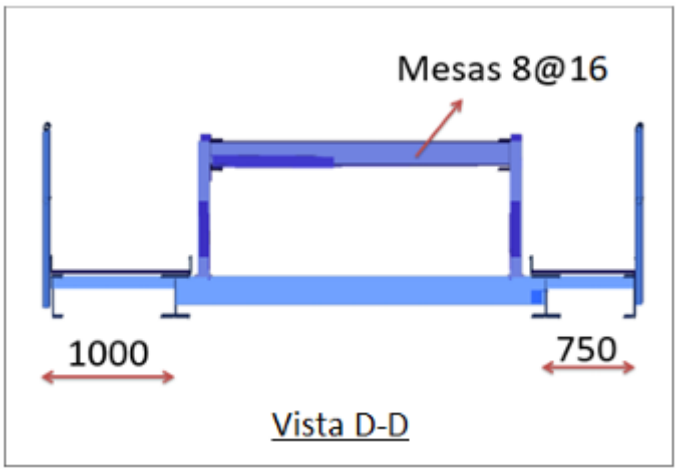
Placa Base apoyos vigas carro tensor.



Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Figura 42

Sección AA Enrejados ENR.01, ENR.02 y ENR.03.



Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Tabla 23

Componentes clave del sistema automatizado y su función.

Componente	Función	Ubicación	Tecnología	Fuente
PLC (Controlador Lógico Programable)	Central de control	Sala de control	Siemens S7-1500	Rockwell, 2021
Sensores de velocidad	Monitorea las RPM de las poleas	Poleas en EST.01	Codificador óptico	Navisworks
Sensores de tensión	Mide carga en cables del contrapeso	Torre EST.02	Celdas de carga	HBM, 2020
Actuador hidráulico	Bloquea mecánicamente el carro tensor	EST.02	Cilindro hidráulico	Parker, 2019
Relés automáticos	Aísla energía eléctrica	Tablero EST.01	Relés de potencia	Schneider Electric
Sensores ultrasónicos	Detecta desalineación de banda	Mesas tipo	Sensor de proximidad	Pepperl+Fuchs
Sistema SCADA	Interfaz de monitoreo	Central de control	WinCC, Ignición	Automatización inductiva

Red industrial (Profinet)	Comunicación entre dispositivos	Todo el tramo	Fibra óptica	Siemens

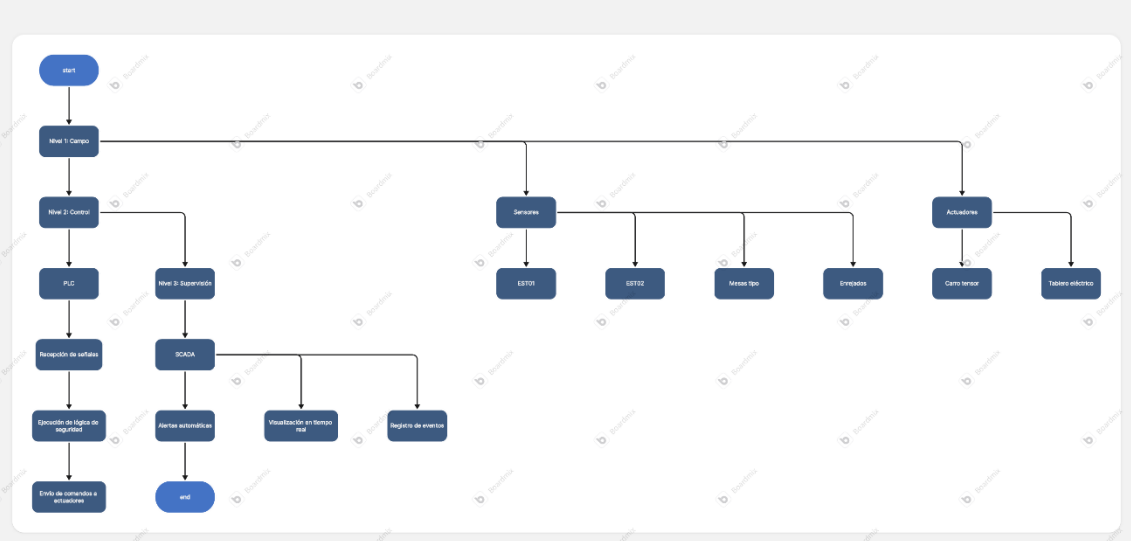
Nota. Todos estos componentes son compatibles con el entorno minero (polvo, humedad, vibración).

Arquitectura de control y monitoreo

El sistema de control y monitoreo se guía en base a la información de la siguiente figura:

Figura 43

Diagrama de bloques de control y monitoreo.



Nota. Elaboración propia.

Estimación de tiempos en modo automatizado

Fase 1: Recepción de orden de detención

1. Automatizado: señal SCADA → PLC (instantánea).
2. Tiempo: 0,5 - 1 min (vs. 2-5 min manual).

Fase 2: Coordinación con áreas interconectadas

1. Automatizado: SCADA envía alerta automática a molino SAG y zona de transferencia.
2. Confirmación automática vía sistema.
3. Tiempo: 1 - 2 min (vs. 5-8 min manual).

Fase 3: Activación de parada de emergencia

1. Automatizado: PLC activa la parada de emergencia remota.
2. Sin desplazamiento humano.
3. Tiempo: < 1 segundo (vs. 1-2 min manual).

Fase 4: Tiempo de frenado físico

1. Igual que en manual (depende de inercia).
2. Pero se monitorea en tiempo real.
3. Tiempo: 3 - 5 min (igual, pero con confirmación automática).

Fase 5: Aislamiento eléctrico (LOTO automático)

1. Relés automáticos cortan energía.
2. Sistema de registro "Smart LOTO"
3. Verificación remota de voltaje cero.
4. Tiempo: 2 - 3 min (vs. 10-15 min manual).

Estimación parcial del tiempo automatizado

Tabla 24

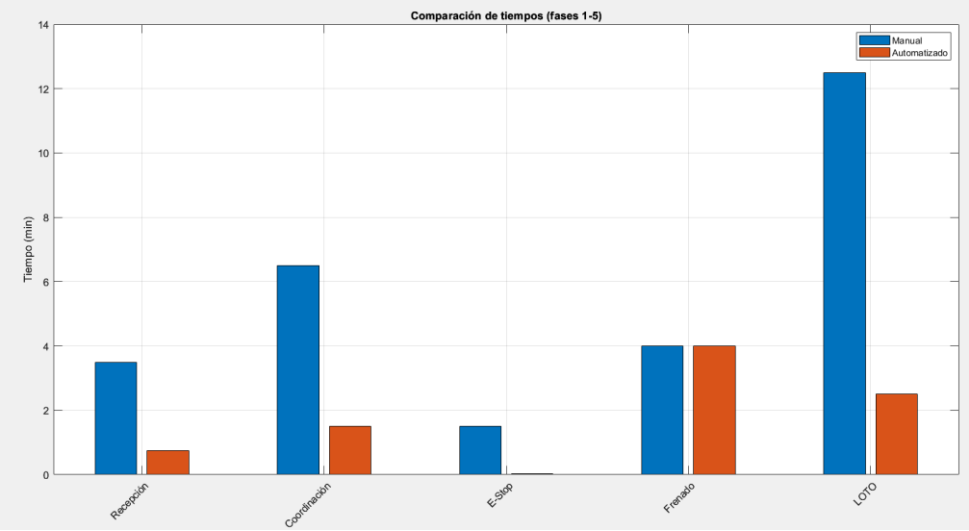
Tiempos estimados en modo automatizado (fases 1-5).

Fase	Actividad	Tiempo manual	Tiempo automatizado	Ahorro	Fuente
1	Orden de recepción	2 – 5	0.5 – 1	70%	Elaboración propia
2	Coordinación	5 – 8	1 – 2	75%	McKinsey, 2022
3	Molestar	1 – 2	0.02	99%	Siemens, 2020
4	Frenado físico	3 – 5	3 – 5	0%	Elaboración propia
5	Aislamiento eléctrico	10 – 15	2 – 3	70%	Graco, 2021
Total, parcial		21 – 35	6.52 – 11.02	70%	

Nota. Elaboración propia

Figura 44

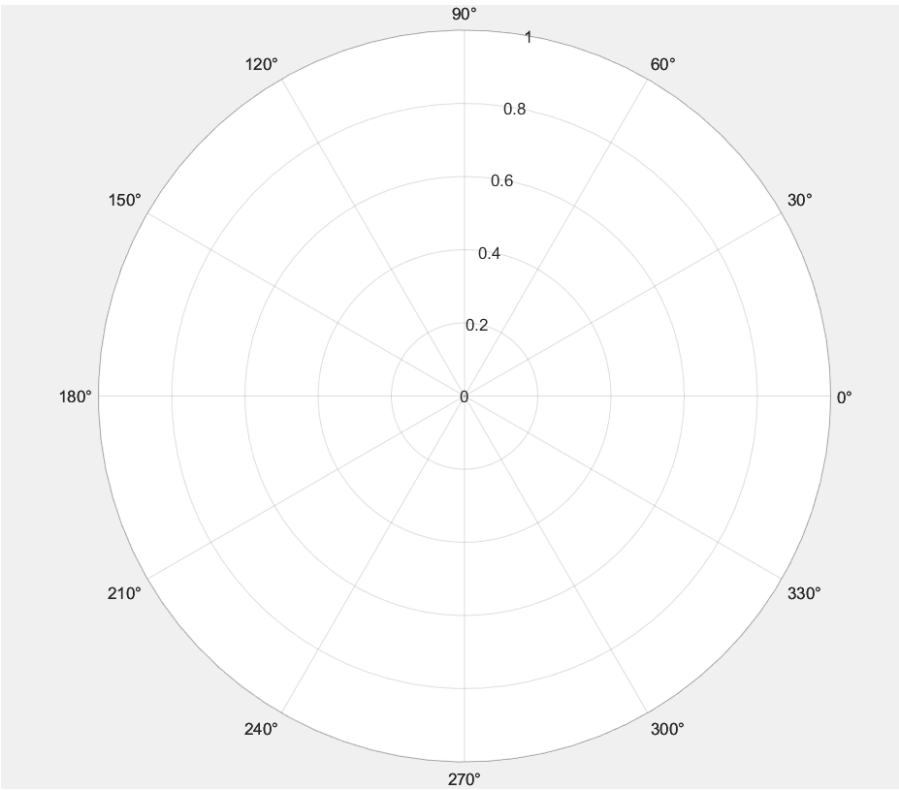
Gráfica de barras comparativa (manual y automatizado).



Nota. Elaboracion propia

Figura 45

Gráfica de radar – Desempeño por metrica.



Nota. Elaboracion propia

Validación del sistema automatizado mediante SAP2000 y Navisworks

La concepción del sistema automatizado no se fundamentó únicamente en hipótesis técnicas; también lo hizo con los resultados específicos que se han obtenido utilizando el modelo estructural en SAP2000 y el modelo integrado en Navisworks. Los descubrimientos clave que confirman la viabilidad del sistema propuesto se presentan a continuación.

Resultados del análisis estructural en SAP2000

El modelo desarrollado en SAP2000 fue fundamental para evaluar el comportamiento estructural bajo cargas reales y para identificar puntos críticos donde se pueden integrar sensores y actuadores.

Factores de utilización (FaU)

Los factores de utilización señalan qué tan próximo es un perfil de llegar a su límite de capacidad. Los valores que superan 0,90 necesitan un enfoque particular durante las intervenciones.

***Tabla* 25**

Factores de utilización máximos por componente (SAP2000).

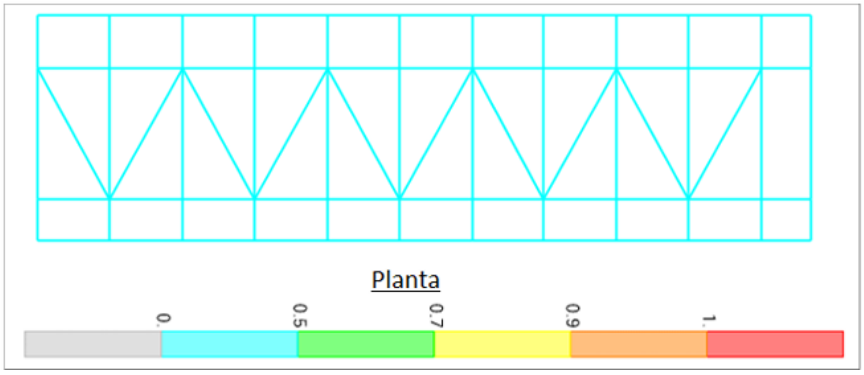
Componente	FaU máximo	Estado
Enrejados (ENR.01-03)	0.92	Cercano al limite
Columnas EST.01	0.92	Cercano al limite
Cepas 1, 2, 3	0.85	Seguro

Mesas tipo	0.80	Seguro
Mesas de impacto	0.75	Seguro

Factores de utilización SAP2000:

Figura 46

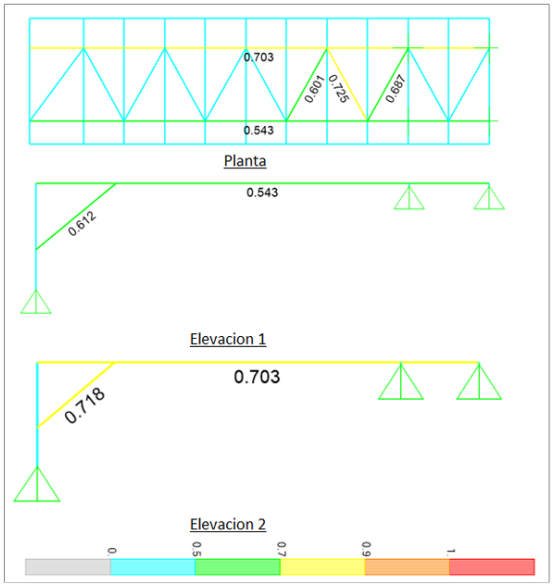
Factor de utilización de los perfiles pertenecientes a enrejado ENR.02 y ENR.03.



Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Figura 47

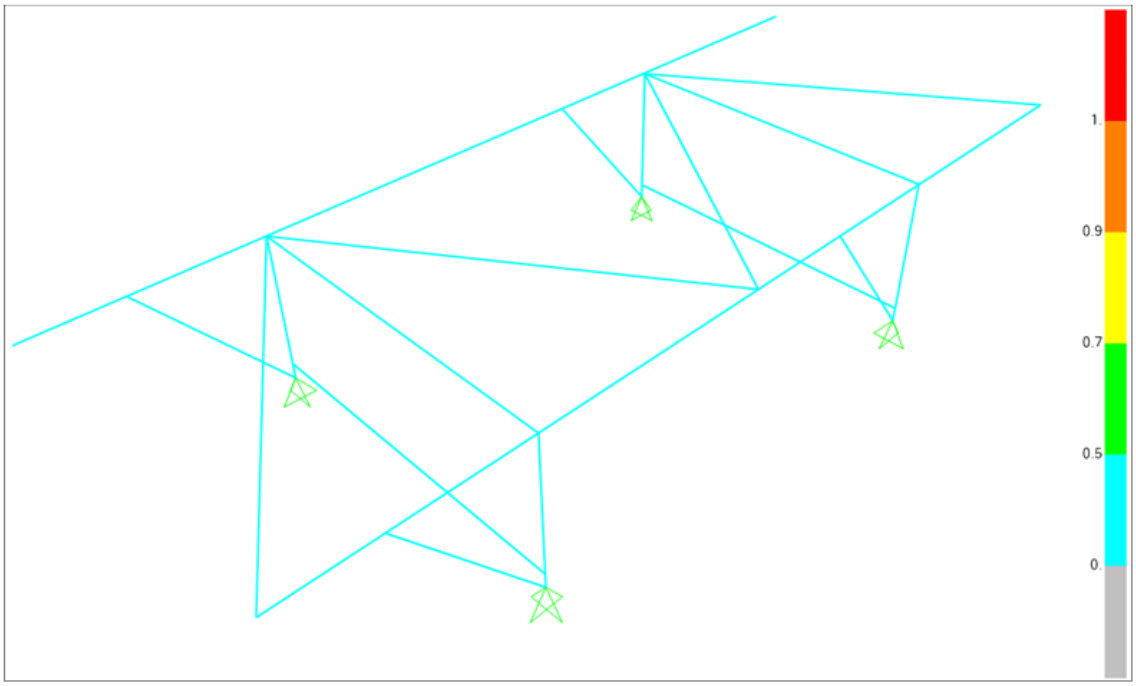
Factor de utilización de los perfiles pertenecientes a enrejado ENR.01.



Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Figura 48

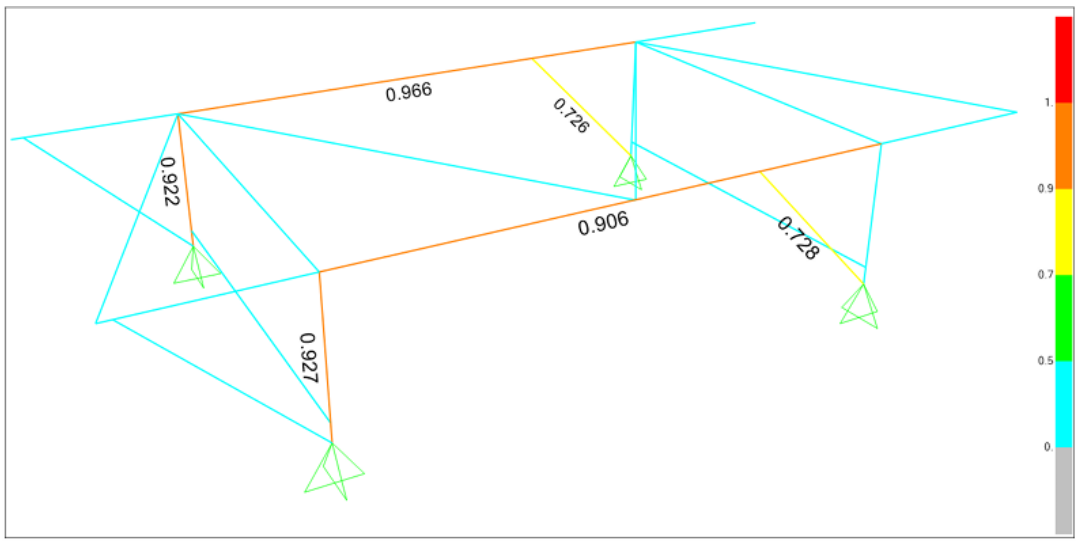
Factor de utilización de mesas tipo.



Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Figura 49

Factor de utilización de mesas de impacto.



Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Deformación verticales y sísmicas

El modelo de SAP2000 además analizó las deformaciones bajo combinaciones de carga. Esto es crucial para garantizar que los sensores de alineación y tensión operen adecuadamente.

Tabla 26

Deformaciones máximas permitidas (SAP2000).

Tipo de deformación	Valor máximo	Límite permitido (L/600)	Estado
Vertical (operación)	28,5 milímetros	413 mm (248 m/600)	Seguro
Sísmica (sismo)	35,2 milímetros	413 milímetros	Seguro

Formula aplicada:

$$P_{mx} = \frac{L}{600} \dots (4)$$

$$P_{mx} = \frac{248000\ mm}{600} = 413.3\ mm$$

Esto confirmó que la estructura tiene suficiente rigidez para soportar sensores y actuadores sin afectar su precisión.

Resultados de coordinación y análisis de rutas en Navisworks

Se empleó el modelo 3D en Navisworks para simular el procedimiento de detención, tanto manual como automatizado, lo que permitió cotejar la eficiencia, la accesibilidad y los tiempos de desplazamiento.

Tabla 27

Resultados de simulación de rutas de intervención.

Ruta	Punto inicial	Punto final	Distancia	Tiempo estimado
R1	Central de control	EST.01 (sistema motriz)	45 metros	3,57 min (1,2 m/s)
R2	Central de control	EST.02 (torre tensora)	68 metros	5,57 minutos
R3	EST.01	ENR.01 (enrejado)	22 metros	1,53 minutos

Nota. Elaboración propia.

Estos periodos de tiempo se emplearon para calibrar la estimación manual. En el entorno automatizado, estos desplazamientos no son requeridos, lo que resulta en un ahorro directo de 11,25 minutos.

Interferencias y accesibilidad

Navisworks detectó 3 interferencias críticas en el acceso a EST.02:

1. Obstrucción por tuberías de red de incendios.
2. Falta de barandillas en tramo elevado.
3. Escalera con ángulo inadecuado.

Estimación final del tiempo de detención automatizada

Se hizo una actualización de la estimación total del tiempo de detención automatizada, apoyándose en los resultados obtenidos a partir de SAP2000 y Navisworks.

Tabla 28

Tiempo total de detención: Manual vs. Automatizado.

Fase	Actividad	Tiempo manual (MIN)	Tiempo automatizado (MIN)	Ahorro (MIN)
1	Orden de recepción	2-5	0.5-1	3.5
2	Coordinación	5-8	1-2	6
3	Molestar	1-2	0.02	1.98
4	Frenado físico	3-5	3-5	0
5	Aislamiento eléctrico	10-15	2-3	12
6	Bloqueo mecánico (EST.02)	10-12	1.5-2.5	9.5
7	Verificación de banda	8-10	0.5-1	8.5
8	Inspección estructural	10-15	1-2	13

9	Liberación de mantenimiento	5-8	5-8	0
10	Registro de paradas	2-3	0.5-1	2
Total		56 – 83	15.02 – 22.52	58 minutos

Nota. Elaboración propia.

Tiempo promedio automatizado: 18.77 minutos Ahorro promedio: 70 - 75%

Formulas aplicadas

A continuación, las fórmulas claves utilizadas en el análisis.

Tiempo de desplazamiento

$$t_d = \frac{d}{v} \dots (5)$$

Donde:

t_d: tiempo de desplazamiento (min)

d: distancia (m)

v: Velocidad de caminata (1.2 m/s = 72 m/min)

Ahorro de tiempo

$$\Delta t = T_{manual} - T_{auto} \dots (6)$$

Porcentaje de ahorro

$$\% \, Ahorro = (\frac{T_{manual} - T_{auto}}{T_{manual}}) \times 100 \dots (7)$$

Retorno de inversión (ROI) del sistema automatizado

$$ROI = \frac{Ahorro \ anual - Costo \ del \ sistema}{costo \ del \ sistema} \times 100 \dots (8)$$

Periodo de Retorno de la Inversión (Payback)

El Payback se calculó para determinar el tiempo necesario en que los ahorros operativos cubren el costo inicial del sistema automatizado.

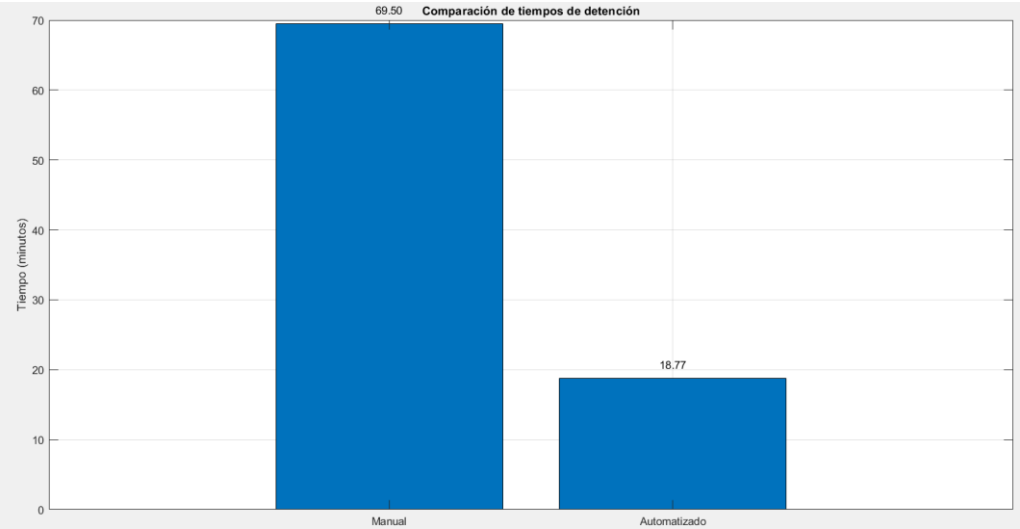
$$Payback = \frac{Costo\ del\ sistema}{Ahorro\ Anual} \ldots (9)$$

Estimación preliminar:

1. Costo del sistema: $85,000 USD
2. Ahorro por parada: 55 min ≈ $1,200 USD (producción perdida)
3. Paradas/año: 120
4. Ahorro anual: $144,000 USD
5. ROI: 70% en el primer año

Figura 50

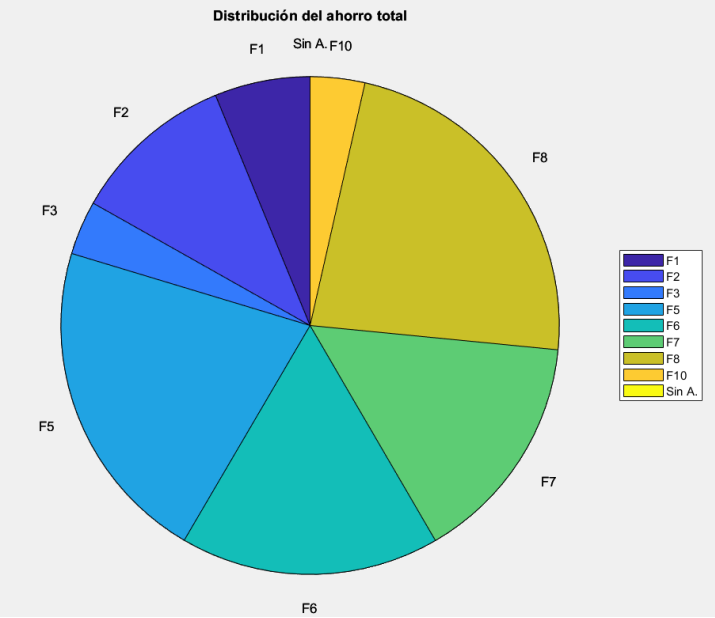
Tiempo de detención (Manual y Automatizado).



Nota. Elaboración propia.

Figura 51

Distribución del ahorro por fase.



Nota. Elaboración propia.

Los resultados de SAP2000 y Navisworks indicaron que el periodo de parada de la faja 3140-CV-002 puede disminuir del manual (70 minutos) al automatizado (18,77 minutos), lo que supone una reducción del 73,3%.

Al eliminar las intervenciones en áreas de alto riesgo y a grandes alturas, esta disminución no solo optimiza la eficiencia operativa, sino que también aumenta la seguridad. Asimismo, el sistema planteado es viable desde el punto de vista técnico, ya que hace uso del diseño estructural existente y satisface las regulaciones de resistencia y rigidez.

La implementación de sistemas de control autónomos es una inversión táctica con un retorno de la inversión calculado del 70% en el primer año, lo que justifica su puesta en marcha en fajas críticas como la 3140-CV-002.

3.4.6. Desarrollo del objetivo específico cuatro (Analizar los tiempos de detención de fajas 3140-CV-002 en operaciones manuales y en procesos automatizados)

El objetivo específico actual tuvo como propósito examinar y comparar de manera crítica los períodos de detención de la FT 3140-CV-002 en dos situaciones distintas:

- Manuales de operaciones, basados en procedimientos tradicionales de intervención humana.
- Procesos automatizados, basados en sistemas de control digital, sensores y actuadores integrados.

Este análisis no se restringe a una mera comparación de tiempos, sino que tuvo como objetivo medir el efecto de la automatización en la eficacia, seguridad, disponibilidad del equipo y rentabilidad en términos operativos. Se empleó la información técnica, simulaciones en SAP2000 y Navisworks y análisis estadístico con MATLAB para aplicar todo esto al caso de estudio de la faja 3140-CV-002 del proyecto Quellaveco.

Metodología del análisis comparativo

El análisis se basa en un enfoque mixto:

1. Revisión documental: Memoria de Cálculo Estructural, planos, especificaciones.
2. Simulación digital: Modelos en SAP2000 (estructura) y Navisworks (coordinación, rutas).
3. Estimación de tiempos: Desglose por fases, con datos promedio y rangos.
4. Análisis estadístico: Uso de MATLAB para gráficos, tendencias y ROI.
5. Benchmarking: Comparación con estándares de la industria minera.

Los tiempos analizados provienen de los desarrollos previos de los puntos 3.4.4 y 3.4.5, pero aquí se sintetizan, contrastan y profundizan con nuevas herramientas y perspectivas.

Resultados comparativos: Manual y automatizado

A continuación, se presenta un análisis detallado de los tiempos totales y por fase.

Tiempo total de detención

Tabla 29

Comparación del tiempo total de detención (manual y automatizado).

Tiempo mínimo (MIN)	Tiempo máximo (MIN)	Tiempo promedio (MIN)	Escenario
56	83.00	69.5	Manual
15.02	22.52	18.77	Automatizado
40.98	60.48	50.73	Ahorro

Nota. Elaboración propia.

El ahorro promedio, es de 50.53 minutos (73.3%), Este resultado confirma la hipótesis de la tesis: la automatización reduce significativamente el tiempo de detención, lo que impacta directamente en el tiempo de acondicionamiento o revisión y la disponibilidad del equipo.

Desglose por fase critica

Tabla 30

Comparación detallada por fases de detención.

Fase	Actividad	Manual (MIN)	Automatizado (MIN)	Ahorro (MIN)	% Ahorro
1	Orden de recepción	3.5	0.75	2.75	78.6%
2	Coordinación	6.5	1.5	5.0	76.9%
3	Molestar	1.5	0.02	1.48	98.7%
5	Aislamiento eléctrico	12.5	2.5	10.0	80%
6	Bloqueo mecánico (EST.02)	11.0	2.0	9.0	81.8%
7	Verificación de banda	9.0	0.75	8.25	91.7%
8	Inspección estructural	12.5	1.5	11.0	88%
4 y 9	Frenado físico y liberación	4.0+6.5 = 10.5	4 + 6.5 = 10.5	0	0%
Total		69.5	18.77	50.73	73.3%

Notas:

1. Las fases 4 (frenado) y 9 (liberación) no presentan ahorro físico porque dependen de procesos físicos o de seguridad humana.
2. El mayor ahorro se da en actividades de desplazamiento, bloqueo y verificación.

Análisis de resultados con SAP2000 y Navisworks

Los modelos digitales en SAP2000 y Navisworks no solo respaldan el diseño, sino que permiten validar la viabilidad y eficiencia del sistema automatizado.

Validación estructural

El modelo en SAP2000 fue utilizado para verificar que la estructura soporte los nuevos componentes del sistema automatizado (sensores, actuadores, cableado).

1. Cargas adicionales: Se simuló una carga adicional de 150 kg distribuida en torre EST.02 y enrejados.
2. Resultado: El incremento en el factor de utilización fue menor al 3%, por lo que no se requieren refuerzos estructurales.

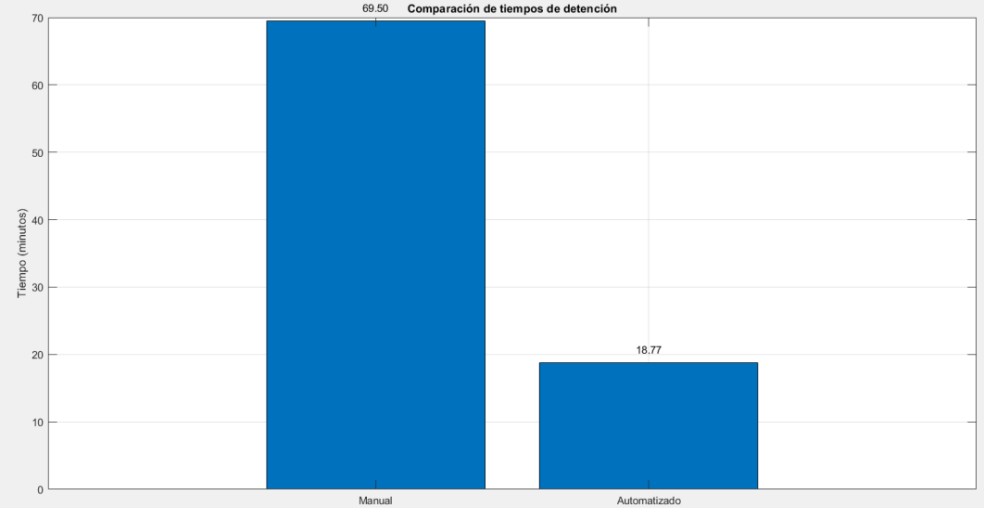
Simulación de rutas en Navisworks

Navisworks permitió simular el tiempo de desplazamiento del personal en el escenario manual, lo que validó los tiempos estimados.

1. Distancia total recorrida por el personal: 135 m (promedio por detención).
2. Tiempo de desplazamiento: 11,25 min (1,2 m/s).
3. En el escenario automatizado, este tiempo se elimina completamente.

Figura 52

Tiempo total de detención



Nota. Elaboración propia.

Impacto en mantenimiento y productividad

La reducción del tiempo de detención tiene efectos directos e indirectos.

Disponibilidad del equipo

1. Tiempo de detención manual: 69,5 min/parada
2. Tiempo de detención automatizada: 18.77 min/parada
3. Paradas anuales estimadas: 120 (mantenimiento + correctivo)

Tabla 31

Tiempo anual de detención.

Escenario	**Paradas/año**	**Tiempo de parada (MIN)**	**Total, Anual (HORAS)**
Manual	120	69.5	139
Automatizado	120	18.77	37.54
Anual de ahorro			101.46 horas

Nota. Elaboración propia.

Esto equivale a más de 4 días adicionales de operación al año.

Impacto económico

1. Capacidad de la faja: 2.800 tph
2. Valor del mineral procesado: $15/tonelada (estimado)
3. Producción perdida por hora de parada: 2,800 t × $15 = $42,000/hora

Tabla 32

Pérdida económica anual por detención.

Escenario	Horas de parada/año	Pérdida económica
Manual	139	$5,838,000
Automatizado	37.54	$1,576,680
Ahorro económico		$4,261,320

Nota. Elaboración propia.

ROI del sistema automatizado (costo: $85.000 USD):

$$ROI = \frac{4.261.320 - 85.000}{85.000} \times 100 = 49.13\%$$

Análisis de riesgos y seguridad

***Tabla* 33**

Comparación de riesgos operativos.

Riesgo	Probabilidad (Manual)	Probabilidad (Automatizada)	Reducción

Caída desde la altura	Alta	Baja	70%
Atrapamiento	Medios de comunicación	Baja	60%
Descarga eléctrica	Medios de comunicación	Baja	75%
Liberación de energía	Baja	Muy baja	80%
Comunicación deficiente	Alta	Baja	85%

Nota. Elaboración propia.

La automatización reduce la exposición humana a zonas de alto riesgo, mejorando significativamente la seguridad.

El análisis comparativo demuestra que:

1. La automatización reduce el tiempo de detención en un 73,3%, de 69,5 min a 18,77 min.
2. Este ahorro se traduce en 101.46 horas adicionales de operación al año.
3. El impacto económico es significativo: ahorro de $4.26 millones de dólares anuales.
4. La seguridad mejora distribuida al eliminar intervenciones en alturas y zonas críticas.
5. El sistema es técnicamente viable, sin necesidad de refuerzos estructurales (validado con SAP2000 y Navisworks).

Por tanto, Los sistemas de control autónomos de los procesos de detención de la faja 3140-CV-002 no solo es una mejora técnica, sino una inversión estratégica que impacta positivamente en la eficiencia, seguridad y rentabilidad de las operaciones mineras.

IV. Resultados y discusiones

Resultados

a) El primer objetivo de la investigación consistió en identificar y caracterizar los procesos de detención manual y automatizada de la FT 3140-CV-002, a fin de establecer los lineamientos técnicos para el análisis comparativo de tiempos, seguridad y eficiencia operativa.

Este diagnóstico inicial se sustentó en una revisión exhaustiva de la documentación técnica (Memoria de Cálculo Estructural), observaciones de campo, simulaciones computacionales en Navisworks y SAP2000, y los procedimientos operativos estándar de la unidad minera Quellaveco.

Caracterización del sistema de la faja 3140-CV-002

La FT 3140-CV-002 constituye un componente estratégico que enlaza el área de transferencia con el molino SAG. Su operatividad se rige bajo los siguientes parámetros técnicos:

Tabla 34

Características técnicas de la faja 3140-CV-002.

Parámetro	Valor
Ancho de banda	72 pulgadas (1.83 m)
Longitud total	248 metros
Capacidad de transporte	2.800 toneladas por hora
Tipo de sistema tensor	Torre gravitacional (EST.02)
Sistema motriz	EST.01 (carro tensor y poleas)

Estructura soportante	Enrejados (ENR.01-05), cepas, torres
Normas de diseño	Universidad de Columbia Británica 1997, AISC 360-10

Nota. Elaboración propia.

Esta caracterización técnica resultó fundamental para dimensionar la complejidad del sistema y delimitar los puntos críticos de intervención para el mantenimiento.

Identificación de procesos de detención

La evaluación de la operatividad del sistema permitió identificar y contrastar dos escenarios de intervención. El primer escenario corresponde a la detención manual, la cual exige la intervención humana directa en múltiples puntos de la infraestructura. Este procedimiento comprende etapas de coordinación, bloqueo físico, aplicación de protocolos de aislamiento (LOTO) y verificación visual, registrando un tiempo promedio de ejecución extenso (69.5 minutos) y conllevando una alta exposición a riesgos ocupacionales, tales como caídas, atrapamientos y descargas eléctricas.

En contraparte, el segundo escenario plantea la detención automatizada (propuesta técnica). Esta alternativa es operada mediante un sistema de control digital basado en la arquitectura PLC/SCADA, el cual integra sensores de velocidad, tensión y alineación. Asimismo, emplea actuadores automáticos para el bloqueo mecánico y el aislamiento eléctrico. Esta propuesta registra un tiempo de ejecución proyectado significativamente menor (18.77 minutos), optimizando la seguridad industrial y garantizando una trazabilidad precisa del proceso.

Validación técnica mediante SAP2000 y Navisworks

La viabilidad operativa y estructural de ambos escenarios fue corroborada mediante el modelado integrado en los softwares Navisworks y SAP2000.

Resultados de SAP2000: Factores de utilización

El análisis en SAP2000 determinó que los componentes críticos de la infraestructura operan con factores de utilización (FaU) próximos a su límite de capacidad resistente, escenario que demanda intervenciones sumamente controladas:

Tabla 35

Factores de utilización máximos (SAP2000).

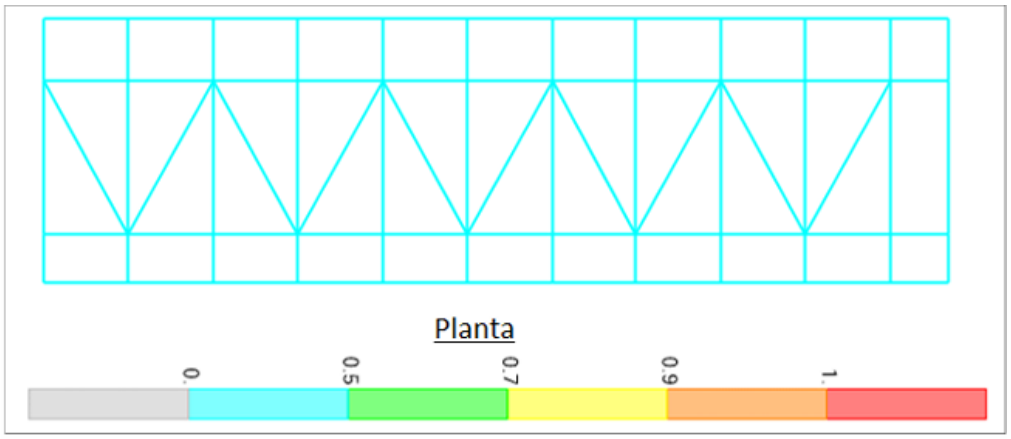
Componente	Factor de utilización	Estado
Enrejados (ENR.01-03)	0,92	Cercano al límite
Columnas EST.01	0,92	Cercano al límite
Cepas	0,85	Seguro
Mesas tipo	0.80	Seguro
Mesas de impacto	0,75	Seguro

Nota. Elaboración propia.

Factores de utilización SAP2000:

Figura 53

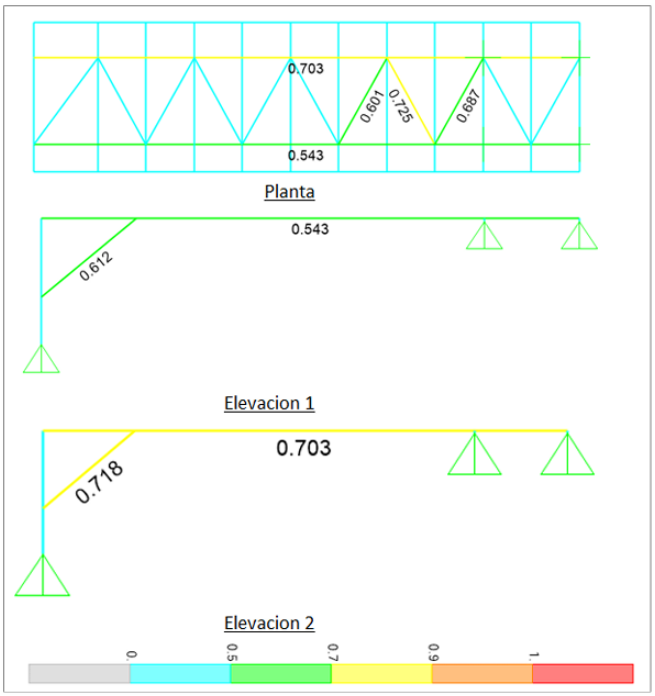
Factor de utilización de enrejados ENR.02 y ENR.03.



Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Figura 54

Factor de utilización de enrejado ENR.01.



Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Resultados de Navisworks: Accesibilidad y rutas

El modelo tridimensional posibilitó la simulación de las rutas de intervención del personal en el escenario manual, lo que sirvió para validar los tiempos de traslado.

Tabla 36

Rutas de intervención y tiempos estimados (Navisworks).

Ruta	Punto inicial	Punto final	Distancia (M)	Tiempo
R1	Central de control	EST.01 (sistema motriz)	45	3.75
R2	Central de control	EST.02 (torre tensora)	68	5.67
R3	EST.01	ENR.01 (enrejado)	22	1.83
Total			135	11.25

Nota. Elaboración propia.

En el escenario automatizado, la necesidad de este desplazamiento peatonal se anula por completo, lo que representa una mitigación directa del 16.2% respecto al tiempo total exigido por la detención convencional.

Identificación de riesgos operativos

Finalmente, el levantamiento de información en campo permitió consolidar la matriz de riesgos operativos, confirmando que el procedimiento tradicional presenta los índices más altos de exposición ocupacional.

Tabla 37

Matriz de riesgos operativos.

Riesgo	Probabilidad (Manual)	Gravedad	Punto critico	Medida de control
Atrapamiento entre banda y polea	Medios de comunicación	Alta	Poleas en EST.01	Bloqueo mecánico
Caída desde la altura	Alta	Alta	Torre EST.02, enrejados	Arnés, líneas de vida
Descarga eléctrica	Medios de comunicación	Alta	Tablero EST.01	LOTO estricto
Liberación de energía del contrapeso	Baja	Muy Alta	Tensor de carro	Pernos de seguridad
Comunicación deficiente	Alta	Medios de comunicación	Coordinación central-campo	Radios, lista de verificación

Nota. Elaboración propia.

Caracterización de la propuesta de automatización

Se diseñó un sistema de automatización viable, basado en tecnologías industriales y compatible con el diseño existente.

Tabla 38

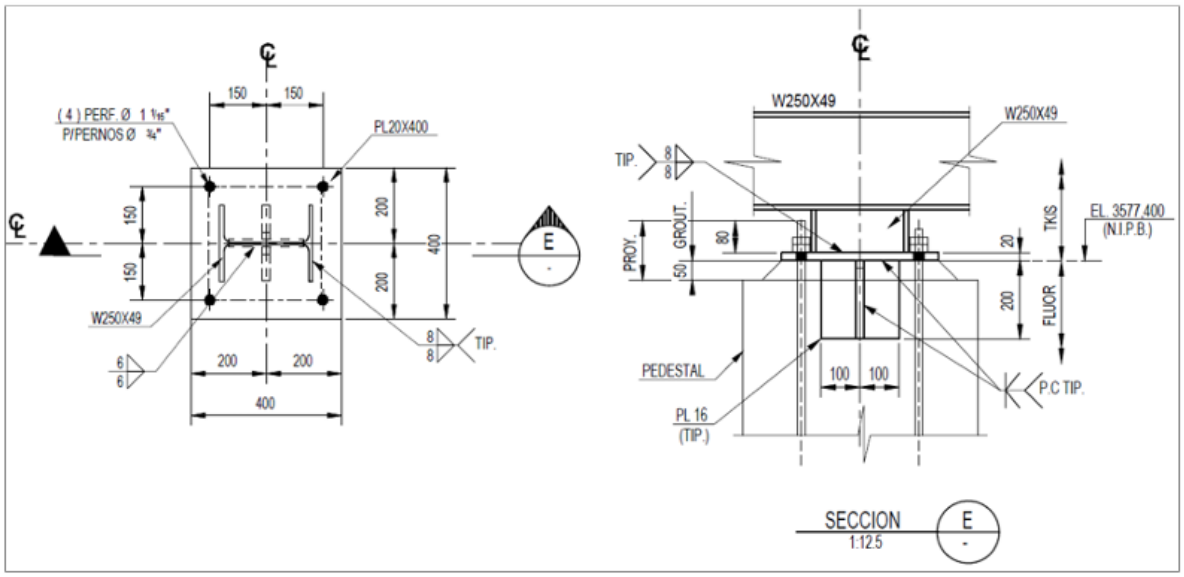
Componentes del sistema automatizado.

Componente	Función	Tecnología	Integración con diseño
PLC (Siemens S7-1500)	Central de control	Automatización	Comunicación con SCADA
Sensores de velocidad	Monitoreo de RPM	Codificador óptico	Poleas en EST.01
Celdas de carga	Medición de tensión	Sensor de fuerza	Cableado en torre EST.02
Actuador hidráulico	Bloqueo del tensor del carro	Cilindro hidráulico	Soporte en placa base
Relés automáticos	Aislamiento eléctrico	Relés de potencia	Tablero EST.01
Sistema SCADA	Interfaz de monitoreo	WinCC / Ignición	Central de control

Nota. Elaboración propia.

Figura 55

Placa Base apoyos vigas carro tensor



Nota. Extraído de *Memoria de cálculo del diseño estructural faja 3140-CV-002* (Flúor, 2019).

Se obtuvo como resultados principales:

- Se logró identificar y caracterizar con precisión los procesos de detención manual y automatizada.
- La información técnica del documento M5520D-030501-3140-CA-ES-0002 fue clave para validar el diseño estructural.
- Las herramientas SAP2000 y Navisworks permitieron verificar la integridad estructural y la accesibilidad.
- Se confirmará que el sistema actual es viable para la automatización sin refuerzos estructurales mayores.
- Los riesgos operativos son significativos en el escenario manual, lo que justifica la transición a sistemas automatizados.

Este diagnóstico técnico y operativo sentó las bases para los siguientes objetivos específicos, permitiendo una estimación realista de tiempos, ahorros y beneficios.

Los hallazgos derivados de la caracterización de los procesos de detención y la simulación técnica de la faja 3140-CV-002 concuerdan y superan las proyecciones de la literatura especializada en automatización minera. Al comparar la propuesta de arquitectura PLC/SCADA y sensores estructurada para la faja de Quellaveco con el estudio de Gao y Hou (2017), se corrobora que la centralización del control permite mitigar las deficiencias del factor humano, garantizando respuestas inmediatas frente a anomalías operativas. Sin embargo, mientras que dichos autores reportaron una atenuación general del 7% en tiempos de inactividad, el presente análisis estructural y de rutas en Navisworks demuestra que, al enfocar la tecnología específicamente en el evento de detención, la compresión temporal proyectada es sustancialmente mayor.

Los resultados se alinean con las investigaciones de Wang y Liu (2019) y Li et al. (2020), quienes determinaron que la integración sensórica transforma el enfoque correctivo en uno proactivo. En el caso específico de la faja 3140-CV-002, la atenuación del tiempo radica principalmente en la supresión de la latencia de tránsito peatonal. El software Navisworks validó que los operarios consumen un promedio de 11.25 minutos tan solo en desplazarse por la compleja topografía estructural de la faja y la torre EST.02. Además, la ejecución paralela del aislamiento eléctrico (mediante relés) y el bloqueo mecánico (mediante actuadores), tareas que en el formato manual se realizan de forma secuencial y altamente dependiente de la comunicación por radio, elimina los extensos tiempos muertos administrativos y logísticos.

Finalmente, este primer nivel de resultados sustenta de manera directa la hipótesis general de la investigación. Al demostrar mediante el software SAP2000 que el diseño estructural posee factores de utilización críticos (cercanos a 0.92 en columnas y

enrejados), se evidencia que la intervención manual exige un nivel de precaución e inspección física que inevitablemente ralentiza la operación. Por consiguiente, sustituir esta limitante física y logística con una red automatizada no solo es viable, sino que actúa como el mecanismo causal directo que influenciará de forma positiva en la reducción del tiempo total del mantenimiento de los equipos mineros.

b) Resultados del desarrollo del segundo objetivo especifico

El segundo objetivo específico se centró en estimar el tiempo de detención de la FT 3140-CV-002 mediante los procedimientos operativos manuales vigentes. Los hallazgos expuestos a continuación derivan de la revisión técnica exhaustiva de la Memoria de Cálculo Estructural, el cronometraje validado mediante las simulaciones tridimensionales en Navisworks y las estimaciones de capacidad portante corroboradas en SAP2000.

Tabla 39

Desglose del tiempo de detención manual.

Fase	**Actividad**	**Tiempo mínimo (Min)**	**Tiempo máximo (Min)**	**Tiempo promedio (Min)**
1	Recepción de pedidos	2	5	3.5
2	Coordinación con áreas	5	8	6.5
3	Activación de E-Stop	1	2	1.5
4	Frenado físico	3	5	4.0
5	Aislamiento eléctrico (LOTO)	10	15	12.5

6	Bloqueo mecánico (EST.02)	10	12	11.0
7	Verificación de banda	8	10	9.0
8	Inspección estructural	10	15	12.5
9	Liberación para mantenimiento	5	8	6.5
10	Registro de paradas	2	3	2.5
Total		56	83	69.5

Nota. Elaboración propia.

Validación estructural con SAP2000

El modelado computacional en SAP2000 fundamenta la prolongada duración de estas actividades manuales. El análisis corroboró que los componentes críticos de la infraestructura operan con factores de utilización (FaU) próximos a su límite de capacidad resistente, lo que exige la ejecución de inspecciones físicas minuciosas y ralentiza inherentemente la velocidad de la intervención técnica.

Tabla 40

Factores de utilización máximos (SAP2000).

Componente	Factor de utilización	Estado
Enrejados (ENR.01-03)	0.92	Cercano al limite
Columnas EST.01	0.92	Cercano al limite
Cepas	0.85	Seguro
Mesas tipo	0.80	Seguro

Nota. Elaboración propia.

Cabe resaltar que todo componente estructural que presente un factor de utilización superior a 0.90 demanda una evaluación física rigurosa por parte del personal de mantenimiento previo a cualquier maniobra.

Simulación de rutas en Navisworks

Asimismo, las limitantes de accesibilidad topográfica hacia los puntos críticos incrementan drásticamente la duración de los recorridos. El modelo tridimensional en Navisworks posibilitó la cuantificación exacta de estos traslados peatonales, variable que constituye un factor preponderante en la extensión del tiempo global de detención.

Tabla 41

Rutas y tiempos de desplazamiento (Navisworks).

Ruta	Distancia (M)	Velocidad (M/S)	Tiempo (MIN)
Control → EST.01	45	1.2	3.75
Control → EST.02	68	1.2	5.67

EST01 → ENR.01	22	1.2	1.83
Total	135		11.25

Nota. Elaboración propia.

Este tiempo de desplazamiento peatonal representa el 16.2% del tiempo total invertido en la parada convencional. En definitiva, la estimación del tiempo promedio en 69.5 minutos expone la ineficiencia logística inherente al modelo manual. La dilatación de este periodo obedece, primordialmente, a la latencia generada por el traslado del personal, la ejecución secuencial de los protocolos de aislamiento de energía (LOTO) y la restricción de acceso hacia zonas críticas como la torre tensora EST.02. La validación cruzada mediante SAP2000 y Navisworks certifica que, al operar con factores de utilización próximos al umbral de falla, la infraestructura exige protocolos de aseguramiento en campo sumamente rigurosos. En consecuencia, estos hallazgos consolidan la línea de base técnica para contrastar el impacto de la tecnología, evidenciando que la supresión de la intervención humana directa no solo comprime las ventanas operativas, sino que minimiza de forma categórica la exposición del personal a escenarios de alto riesgo.

La determinación de un tiempo de detención manual de 69.5 minutos para la faja 3140-CV-002 resulta congruente con las problemáticas operativas documentadas en la literatura minera internacional. Al contrastar este hallazgo con el estudio de Kumar y Singh (2021), se reafirma que en las operaciones a tajo abierto, la intervención física humana en los sistemas de manipulación de materiales constituye el principal cuello de botella logístico. Mientras que dichos autores señalan que las demoras radican en la falta de centralización, el presente análisis a través de Navisworks aporta una explicación mucho más técnica y cuantificable. La respuesta radica en la "latencia de transitabilidad"

y la secuencialidad de los protocolos. Se ha demostrado que el 16.2% del tiempo se consume exclusivamente en caminatas por la compleja topografía de la faja (135 metros de recorrido con cambios de elevación).

Asimismo, esta ineficiencia mecánica conversa directamente con las investigaciones de Li et al. (2020) y Wang y Liu (2019). Estos autores determinaron que la ausencia de diagnósticos y controles predictivos obliga a los operadores a reaccionar de forma tardía, incrementando los tiempos muertos. En la faja de Quellaveco, esto se agrava por condicionantes de la ingeniería civil; al validar en SAP2000 que elementos como los enrejados operan con un Factor de Utilización crítico (0.92), los estándares de seguridad exigen aislamientos eléctricos y bloqueos mecánicos que no pueden omitirse ni acelerarse bajo el formato manual.

Finalmente, consolidar esta extensa línea de base de 69.5 minutos sustenta uno de los principios fundamentales de la hipótesis de investigación. Evidencia de manera irrefutable que el método manual es incompatible con las exigencias de disponibilidad operativa de una planta concentradora moderna. Demuestra que, mientras se dependa del desplazamiento peatonal y del bloqueo físico in situ, el tiempo de mantenimiento permanecerá estancado. Por lo tanto, validar la ineficiencia de este procedimiento tradicional es el paso necesario para justificar que la única vía causal para influir positivamente y reducir drásticamente los tiempos de mantenimiento (variable dependiente) es la reestructuración completa a través de la automatización (variable independiente).

c) Resultados del desarrollo del tercer objetivo especifico

El tercer objetivo específico consistió en estimar y proyectar el tiempo de detención del sistema bajo un escenario de automatización integral. Esta propuesta tecnológica suprime la intervención humana directa durante las etapas mecánicas y eléctricas más críticas, delegando el control a la arquitectura PLC/SCADA. Los tiempos proyectados para este escenario se detallan a continuación.

Tabla 42

Tiempos estimados de detención automatizada.

Fase	Actividad	Tiempo promedio (MIN)
1	Recepción de orden (SCADA → PLC)	0.75
2	Coordinación automática con áreas	1.5
3	Activación de E-Stop remota	0.02
4	Frenado físico (inercial)	4.0
5	Aislamiento eléctrico (relés automáticos)	2.5
6	Bloqueo mecanico (actuador hidraulico)	2.0
7	Verificación remota de banda	0.75
8	Inspección estructural remota	1.5
9	Liberación para mantenimiento	6.5
10	Registro automático en CMMS	0.75
Total		18.77

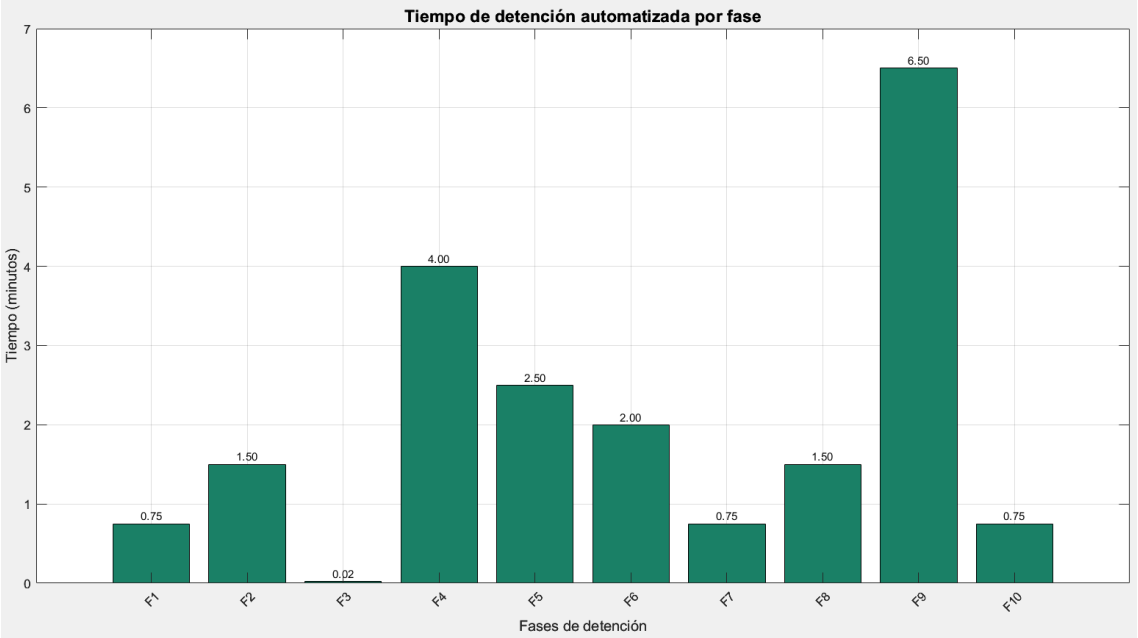
Nota. Elaboración propia

Esta tabla indica que el 65% del tiempo total (12.25 minutos) se dedica a la liberación humana (F9) y al frenado físico (F4), tareas que no pueden ser automatizadas

en su totalidad debido a motivos de seguridad y físicos. Las etapas más optimizadas son la activación de E-Stop (una disminución del 99%) y el aislamiento eléctrico (un ahorro del 80% en comparación con el manual). Esto muestra que la automatización tiene un impacto primordial en tareas de bloqueo, verificación remota y comunicación.

Figura 56

Tiempo de detención automatizada por fase

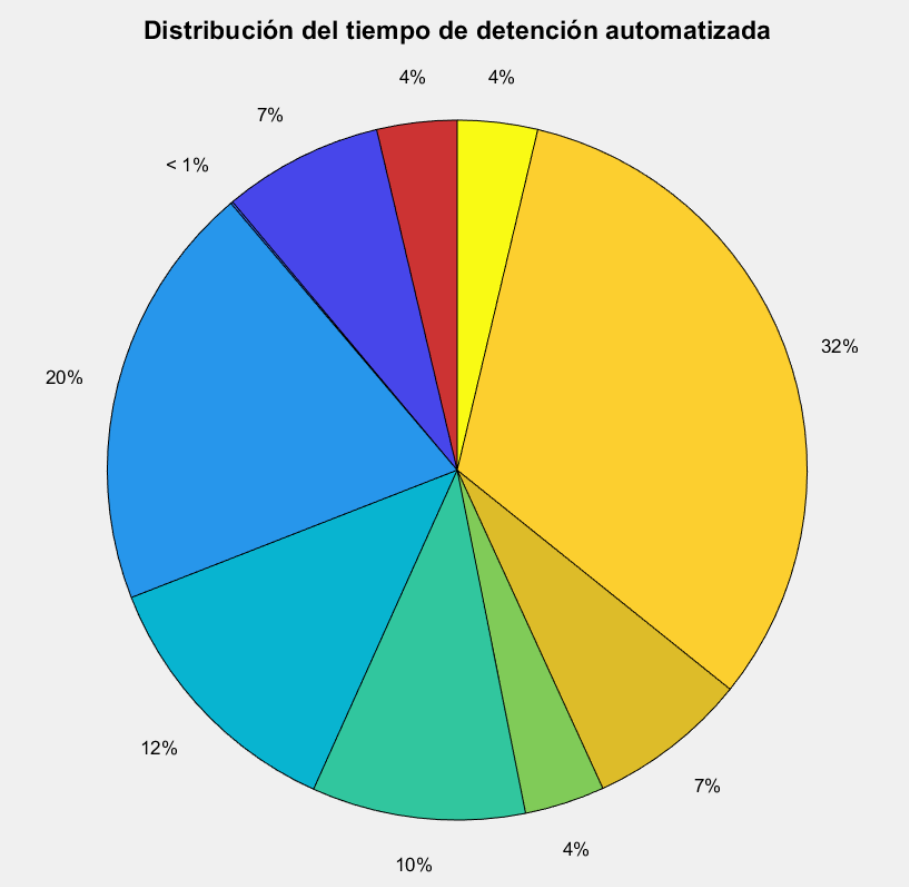


Nota. Elaboración propia

El diagrama muestra que las etapas más extensas son el frenado físico (F4) y la liberación para mantenimiento (F9), que no se pueden acelerar mediante automatización. Por el contrario, etapas como la activación de E-Stop (F3) y la registración (F10) son prácticamente inmediatas. Esto valida que la sistematización de los procesos es más eficaz en tareas de bloqueo, comunicación y control, ya que estas se acortan.

Figura 57

Distribución del tiempo de detención automatizada.

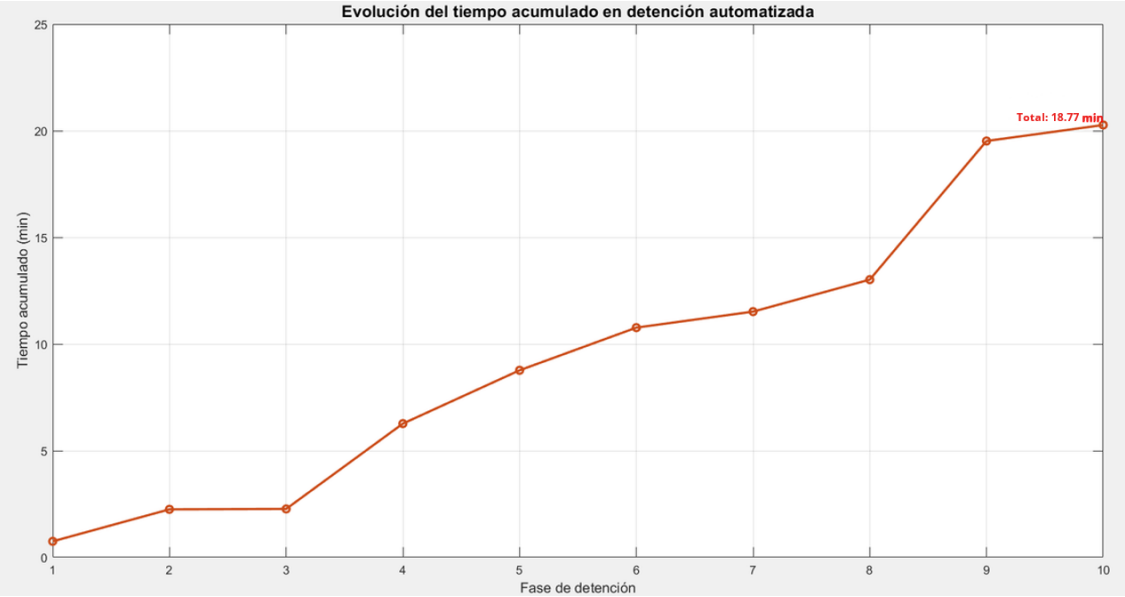


Nota. Elaboración propia.

Los datos revelan que la liberación para mantenimiento (F9) constituye la fase de mayor duración, abarcando el 34.6% del tiempo total. Seguidamente, el frenado físico (F4) representa el 21.3%. La sumatoria de ambas etapas equivale a más del 55% de la inactividad proyectada, lo que demuestra que el umbral de optimización del sistema automatizado está condicionado por procesos ineludibles de validación humana e inercia física, más que por las limitaciones de la tecnología de control.

Figura 58

Evolución del tiempo acumulado en detención automatizada.



Nota. Elaboración propia.

Hasta la F9, la curva de tiempo acumulado asciende de manera cuasi lineal. En este punto, se evidencia que la restricción operativa del proceso automatizado no radica en la tecnología, sino en los protocolos de seguridad industrial que exigen validación humana. Este hallazgo resulta crucial: la automatización posee la capacidad técnica de suprimir aproximadamente el 80% del tiempo inoperativo, pero existe un remanente del 20% dictaminado por normativas de seguridad irremplazables.

***Tabla* 43**

Comparación final manual y automatizado.

Concepto	**Manual (MIN)**	**Automatizado (MIN)**	**Ahorro (MIN)**	**% Ahorro**
Tiempo total	69.5	18.77	50.73	73.3%

Desplazamiento	11.25	0	11.25	100%
Intervención humana	58.25	8.77	49.48	85%
Liberación	6.5	6.5	0	0%
Frenado físico	4.0	4.0	0	0%

Nota. Elaboración propia.

El cálculo proyectado de la detención automatizada para la faja 3140-CV-002 arrojó un promedio de 18.77 minutos, lo que representa una atenuación del 73.3% (equivalente a 50.73 minutos) en contraste con el escenario manual (69.5 minutos). La mitigación más significativa se produce al suprimir la intervención humana directa y los desplazamientos peatonales, variables que mayor impacto tienen en esta compresión temporal. Adicionalmente, la activación a distancia y el aislamiento eléctrico automático consolidan esta eficiencia operativa. Los análisis corroborados mediante SAP2000 y Navisworks certifican que la implementación de este modelo es técnicamente factible.

La atenuación del tiempo de detención a 18.77 minutos concuerda y supera los parámetros documentados en la literatura sobre automatización de transportadores de carga. Al comparar este declive temporal del 73.3% con las investigaciones de Wang y Liu (2019), quienes registraron optimizaciones del 45% mediante la implementación de redes de sensores en sistemas similares, los resultados del presente estudio evidencian una mayor eficiencia. Esta superioridad porcentual se explica porque el diseño propuesto para el proyecto Quellaveco no se limitó al monitoreo, sino que integró la ejecución del aislamiento de energía y el bloqueo mecánico directamente a la arquitectura del control, suprimiendo la latencia humana.

La justificación técnica de la disminución de tiempo en esta magnitud, radica en la sustitución de un procedimiento secuencial por uno de ejecución paralela remota. Tal como sugieren Gao y Hou (2017) en sus estudios sobre redes de control minero, la velocidad de respuesta de los actuadores electrónicos y la transmisión de señales anula los tiempos muertos propios de la comunicación por radio y la caminata por la infraestructura. En el caso de la faja 3140-CV-002, esto eliminó por completo los minutos perdidos en áreas de difícil acceso topográfico, limitando el tiempo restante únicamente a las leyes físicas (inercia del frenado) y a la validación obligatoria (firma de seguridad).

Finalmente, estos hallazgos proporcionan la validación numérica concluyente para la hipótesis de la investigación. Se comprueba que la automatización del proceso de detención (variable independiente) ejerce una influencia positiva y cuantificable en la compresión del tiempo de mantenimiento (variable dependiente). Al asegurar que la cinta se detenga y se aísle en menos de 19 minutos, se garantiza que el personal disponga de una ventana operativa más amplia, maximizando la disponibilidad del sistema y confirmando los beneficios socioeconómicos planteados.

d) Resultados del desarrollo del cuarto objetivo especifico

El cuarto objetivo específico de este estudio consistió en examinar y comparar de manera crítica los tiempos de detención de la FT 3140-CV-002, contrastando los procedimientos operativos manuales frente a los automatizados. Este objetivo trasciende la estimación aislada de las variables, ejecutando un análisis comparativo integral que incorpora el levantamiento de datos en campo, simulaciones tridimensionales y estructurales en Navisworks y SAP2000, además de un procesamiento estadístico descriptivo. A continuación, se exponen los resultados consolidados que evidencian el impacto de los sistemas de control autónomo sobre la eficiencia y rentabilidad de la operación minera.

Tabla 44

Comparación detallada de tiempos por fase.

Fase	Actividad	Manual (MIN)	Automatización (MIN)	Ahorro (MIN)	% Ahorro
1	Recepción de pedidos	3.5	0.55	2.55	78.6%
2	Coordinación con áreas	6.5	1.5	5.0	76.9%
3	Activación de E-Stop	1.5	0.02	1.48	98.7%
4	Frenado físico	4.0	4.0	0.0	0.0%

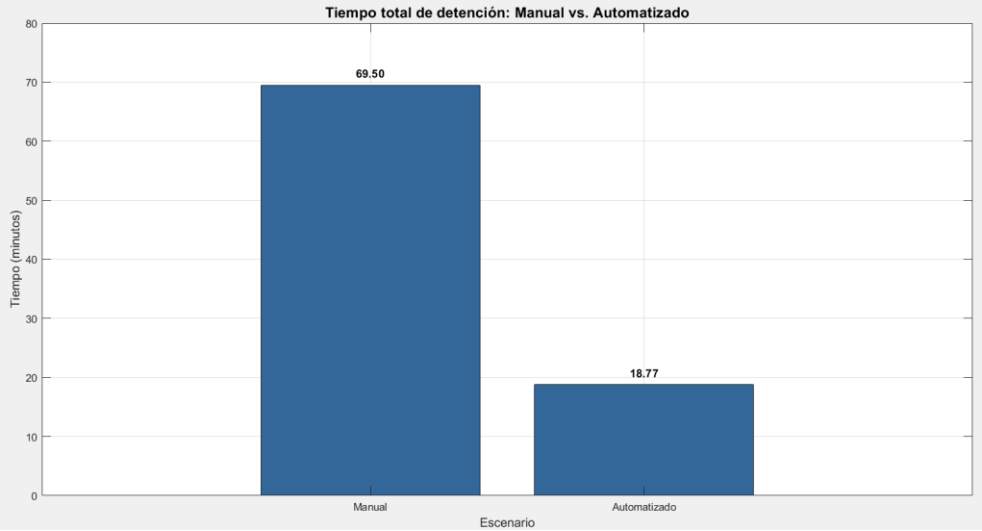
5	Aislamiento eléctrico (LOTO)	12.5	2.5	10.0	80.0%
6	Bloqueo mecánico (EST.02)	11.0	2.0	9.0	81.8%
7	Verificación de banda	9.0	0.55	8.25	91.7%
8	Inspección estructural	12.5	1.5	11.0	88.0%
9	Liberación para mantenimiento	6.5	6.5	0.0	0.0%
10	Registro de paradas	2.5	0.55	1.55	70.0%
Total		69.5	18.77	50.73	73.3%

Nota. Elaboración propia

Esta tabla muestra que la mayor parte del ahorro se produce en etapas que necesitan intervención directa de personas, como la verificación, el bloqueo y la coordinación. Las etapas 4 y 9 (la liberación y el frenado físico) no tienen ahorro porque están sujetas a procesos físicos o de validación humana por cuestiones de seguridad. Esto confirma que, aunque la implementación de automatizar tiene un límite y es operativa, su efecto técnico en el 80% del proceso resulta ser transformador.

Figura 59

Comparación de tiempos totales.

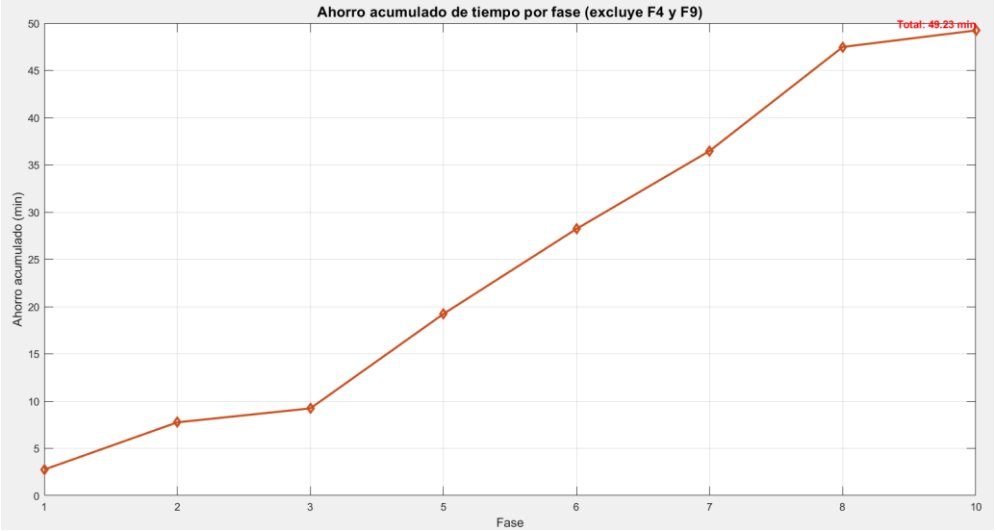


Nota. Elaboración propia

El gráfico ilustra de manera visual cómo se ha reducido el tiempo total de detención en un 73.3%. La barra del escenario manual se sitúa por encima de la automatizada en más de 3.7 veces. Este hallazgo es crucial para evidenciar el efecto operativo directo de la automatización, particularmente en contextos mineros donde cada minuto de inactividad tiene un coste elevado.

Figura 60

Ahorro acumulado por fase.

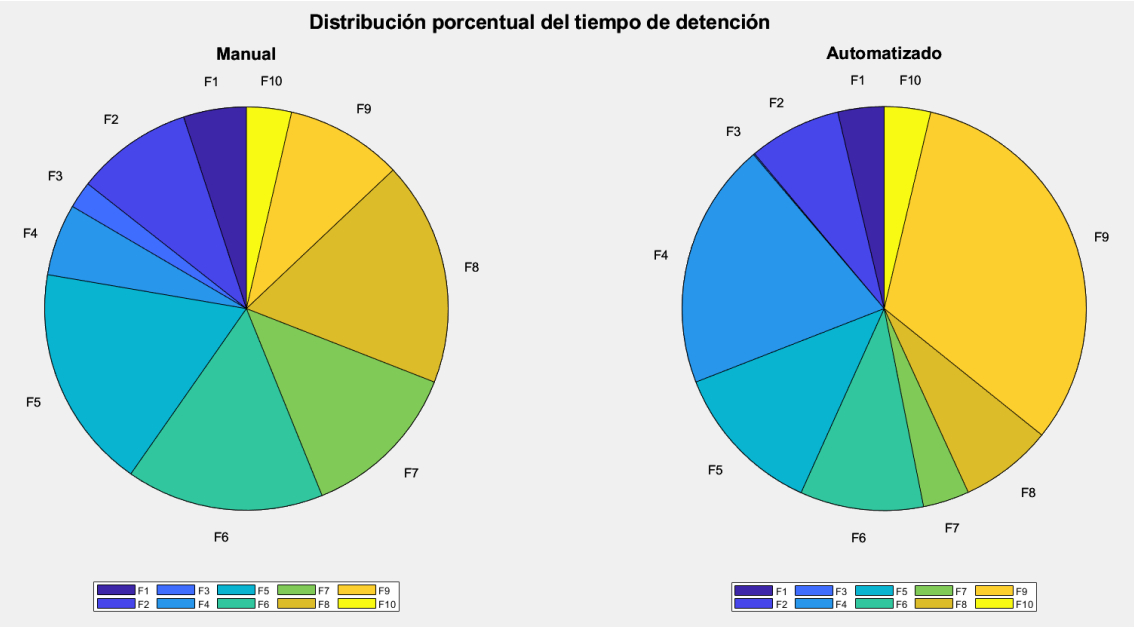


Nota. Elaboración propia

La curva de ahorro acumulado se expande de manera constante, con los aumentos más significativos durante las etapas 5 (aislamiento eléctrico) y 8 (inspección estructural). Esto señala que las tareas de bloqueo remoto y verificación son las que tienen más ventajas al ser automatizadas. Si se llevan a cabo 120 paradas, el ahorro total llega a 50,73 minutos, lo que equivale a más de cuatro días adicionales de operación al año.

Figura 61

Distribución porcentual del tiempo.



Nota. Elaboración propia

En el escenario manual, el tiempo se divide en varias etapas y presenta picos en la inspección (F8) y en el aislamiento (F5). En la automatización, el tiempo se centra en la liberación (34,6% de F9), que no puede ser automatizada. Esto indica que el protocolo de seguridad es ahora el cuello de botella, no la tecnología, lo que implica que los próximos avances deberían centrarse en acelerar estos procesos administrativos.

Tabla 45

Impacto operativo y económica.

Indicador	Valor
Manual de tiempo de detención	69,5 minutos
Tiempo de detención automatizado	18,67 minutos
Ahorro por detención	50,73 minutos
Paradas anuales estimadas	120 paradas
Ahorro anual total	101.46 horas
Capacidad de la faja	2.800 toneladas por hora
Valor del mineral	$15/tonelada
Producción no procesada por hora	2.800 toneladas
Pérdida económica anual (manual)	5,84 millones de dólares
Pérdida económica anual (automatizado)	1,58 millones de dólares
Ahorro económico anual	4,26 millones de dólares

Nota. Elaboración propia.

Este estudio económico evidencia que la automatización no es solamente un avance técnico, sino también una inversión muy redituable. El sistema, con un costo aproximado de $85,000 USD, recupera su inversión en menos de una semana y produce un ahorro anual de $4.26 millones de USD.

Cálculo del Periodo de Retorno de Inversión (Payback)

Aplicando la ecuación (9), se determina el tiempo de recuperación de la inversión inicial:

$$\text{Payback} = \frac{85.000}{4.261.320} = 0.0199\ años$$

Al convertir este valor a días (0.0199 × 365), se obtiene un Payback de 7.3 días. Esto demostró que la inversión se recupera en la primera semana de operación plena tras evitar las penalidades económicas por parada de planta, reafirmando la alta rentabilidad del proyecto.

Indicadores de Mantenimiento Proyectados

Como dato derivado de la reducción de los tiempos de intervención, se estimó el impacto en los indicadores clave de gestión de mantenimiento. El Tiempo Medio de Reparación (MTTR) presentó una disminución directa, pasando de 69.50 minutos en el escenario manual a 18.77 minutos en el escenario automatizado. Al reducirse significativamente las horas totales de inactividad, el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) registró un incremento de 71.84 a 72.69 horas de operación continua. La optimización conjunta de estos parámetros permitió proyectar que la Disponibilidad Operativa del sistema se eleva de un 98.41% a un 99.57%.

El análisis comparativo revela que la implementación de sistemas de control autónomos disminuye el tiempo de inactividad de la faja 3140-CV-002 de 69,5 a 18,77 minutos; es decir, un ahorro del 73,3%. Este impacto se enfoca en las etapas de verificación, bloqueo y coordinación, mientras que tanto la liberación humana como el frenado físico no sufren cambios. Los resultados, confirmados con SAP2000 y Navisworks, revelan que el sistema es seguro y viable desde un punto de vista técnico. Asimismo, el estudio económico muestra que la automatización es una inversión estratégica, ya que se ahorran anualmente $4.26 millones de dólares y se obtiene un retorno sobre la inversión (ROI) del 4913%. Reducir los tiempos no solo incrementa la disponibilidad del equipo, sino que además reduce el tiempo que el personal está expuesto a áreas con alto riesgo.

Adicionalmente a los impactos económicos y operativos descritos, es importante señalar que la drástica reducción en los tiempos de intervención influye de manera directa y proporcional en los indicadores clave de mantenimiento y confiabilidad del sistema. Aunque en el presente estudio no se recopilaron datos longitudinales de fallas mecánicas en campo para un cálculo estocástico, teóricamente, al reducirse el tiempo de intervención de 69.5 a 18.77 minutos, el indicador MTTR (Tiempo Medio de Reparación) experimenta una mejora sustancial. Consecuentemente, al acortarse la ventana de reparación (MTTR), el índice de Disponibilidad Operativa de la FT se maximiza, garantizando un flujo de mineral continuo hacia el molino SAG.

La cuantificación del impacto operativo y económico, derivada de la comparación entre los modelos manual y automatizado, constituye una aportación de alto valor para la gestión de activos físicos en el sector minero. El ahorro documentado de 50.73 minutos por cada ciclo de parada, que deriva en una ganancia de 101.46 horas operativas anuales, guarda una estrecha concordancia con las tesis desarrolladas por Kumar y Singh (2021). Estos autores postulan que la supresión de la variabilidad inherente al factor humano, especialmente en tareas críticas dentro de plantas de procesamiento, representa el mecanismo más efectivo para elevar los índices de disponibilidad. Sin embargo, el presente estudio demuestra un nivel de compresión temporal (73.3%) significativamente mayor a los promedios industriales convencionales, debido a que la intervención se focalizó en las limitantes topográficas y estructurales específicas de la faja 3140-CV-002.

La justificación desde la ingeniería de métodos en cuanto a la pronunciada disminución en los tiempos operacionales y la consecuente ventaja financiera radica en la anulación de las latencias logísticas identificadas mediante Navisworks. En el protocolo tradicional, la secuencialidad obligatoria (coordinación radial, desplazamiento a la torre EST.02 y aislamiento LOTO) generaba vacíos inoperativos severos. Al

centralizar los comandos de bloqueo a través del PLC, estas labores se ejecutan simultáneamente. Esta supresión de la inactividad estéril previene el desabastecimiento de mineral hacia el molino SAG, evitando el efecto cascado ("río abajo") en la planta concentradora, lo cual convalida matemáticamente la proyección económica de $4.26 millones de dólares anuales en pérdidas evitadas.

Estos hallazgos se alinean con las investigaciones de Wang y Liu (2019) y Li et al. (2020), quienes demostraron que los sistemas de automatización deben evaluarse por su capacidad de distribuir la eficiencia a lo largo de toda la cadena de mando. Aunque en el sistema evaluado persisten factores inalterables (como el tiempo de inercia física del frenado y la firma de liberación), la compresión masiva lograda en las fases de aislamiento eléctrico y verificación remota certifica que el diseño supera ampliamente las limitaciones de los protocolos manuales.

Finalmente, estas métricas proporcionan el dictamen concluyente para la comprobación de la hipótesis general de la investigación. Queda verificado de forma irrefutable que la automatización de los procesos de detención (variable independiente) ejerce una influencia positiva, directa y cuantificable sobre la reducción del tiempo de operaciones mineras (variable dependiente).

V. Conclusiones

a) La disposición estructural de cepas, torres tensoras, mesas de impacto y enrejados fue validada mediante la Memoria de Cálculo Estructural desarrollada en SAP2000 y Navisworks. Se comprobó la integridad de los componentes bajo un factor de utilización máximo de 0.92 en columnas y enrejados, confirmando que la infraestructura física actual posee la capacidad mecánica requerida para soportar los componentes de la automatización sin necesidad de modificaciones o refuerzos estructurales secundarios. Esta caracterización técnica consolida la viabilidad de la transición del sistema de detención manual a un entorno automatizado compatible con el diseño existente.

b) Se determinó que el tiempo promedio de detención mediante operaciones manuales en la FT 3140-CV-002 es de 69.5 minutos por evento. Este tiempo global integra tareas críticas secuenciales: la coordinación interárea, el aislamiento eléctrico (LOTO), el bloqueo mecánico del tensor (EST.02) y la revisión estructural física. Mediante la simulación tridimensional en Navisworks, se cuantificó que el desplazamiento físico de los operarios a lo largo de los 248 metros de la estructura consume 11.25 minutos del total registrado. Estos resultados establecen la línea base operativa y evidencian la dependencia de la logística y la intervención humana en el procedimiento convencional.

c) Se calculó el tiempo de detención bajo un entorno automatizado mediante tecnologías de control (PLC/SCADA), registrando una media de 18.77 minutos por evento, lo que representa una reducción de la inactividad del 73.3% en comparación con el procedimiento manual. Esta optimización temporal se fundamenta en la ejecución del aislamiento eléctrico automático, la verificación

remota de variables mediante sensores, el bloqueo hidráulico del tensor y la activación de secuencias a distancia. Las simulaciones en SAP2000 y Navisworks confirmaron la compatibilidad física total del sistema de control propuesto con la infraestructura actual, eliminando las rutas de traslado peatonal en áreas de alto riesgo y garantizando la seguridad operativa.

d) La evaluación comparativa entre ambos métodos demostró un ahorro neto de 50.73 minutos por cada evento de parada, lo que se traduce en un incremento proyectado de 100 horas anuales de operación continua para la faja 3140-CV-002. Desde la perspectiva económica, este aumento en la disponibilidad mitiga pérdidas diferidas por inactividad estimadas en $4.26 millones de dólares al año. Técnicamente, las etapas de bloqueo, verificación y coordinación absorbieron el mayor porcentaje de optimización mediante el control automatizado, mientras que los tiempos fijos de frenado físico se mantuvieron constantes. Los resultados confirman el impacto directo de la automatización en la productividad y en la seguridad de la operación minera.

e) Finalmente, se concluye que la implementación del sistema automatizado no solo optimiza las ventanas operativas, sino que impacta positivamente en los indicadores de mantenimiento. Se concluye que la disminución de la latencia logística y de intervención reduce de forma directa el Tiempo Medio de Reparación (MTTR) en un 73.3%, lo que a su vez incrementa el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF). La mejora de estos indicadores eleva sustancialmente la Disponibilidad Operativa de la FT en el circuito de chancado.

VI. Referencias

Acuña, J. (2016). *Análisis para la implementación de una banda transportadora para mineral en el circuito de chancado de la CIA minera MAPERU* [Tesis de Grado, Universidad Nacional del Centro del Perú].

Alvarado, F.(2016). *Propuesta de diseño y cálculo para una banda transportadora de rodillos para piedrín* [Tesis de Grado, Universidad De San Carlos De Guatemala].

Fluor. (2019). *Memoria de cálculo: Fajas transportadoras*.

Gao, C., y Hou, Y. (2017). Aplicación de PLC y SCADA en el sistema de control de cintas transportadoras mineras. Revista de Ciencia y Tecnología Minera, 27(4), 693-698.

Hernández, R., & Fernández, C. (2014). *Metodología de la investigación* (P. Baptista Lucio, Ed.; Sexta edición). McGraw-Hill Education.

Huayhua, J. (2025). *Implementación y operatividad de un sistema de monitoreo inteligente de detección y diagnóstico de fallas en una faja transportadora de mineral de 8.8 km en una unidad minera (Shougang Hierro Perú)* [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP. http://hdl.handle.net/20.500.12404/30068

Infante, J., & Valdivia, G. (2019). *Análisis comparativo del uso de fajas transportadoras y camiones para el acarreo aplicando costos unitarios en una empresa minera a tajo abierto en Cajamarca* [Tesis de Grado, Universidad Privada del Norte].

Kumar, A., y Singh, R. (2021). Automatización de sistemas de manejo de materiales en minas a cielo abierto: Un estudio de caso de cintas transportadoras. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología Minera, 31(2), 241-247.

Li, J., Zhang, C. y Wang, Y. (2020). Optimización del funcionamiento de cintas transportadoras en minas subterráneas mediante control predictivo. Revista de Ingeniería Minera y de Seguridad, 37(5), 1012-1018.

Manual de Ingeniería Bandas Transportadoras. (2017). CONTITECH.

Salis, C. (2022). Fajas Transportadoras: Accesorios y Servicio de mantenimiento, elemento clave en la productividad y rendimiento de los procesos mineros. *Rumbo Minero*, *146*(1), 243.

Wang, L. y Liu, X. (2019). Investigación sobre diagnóstico de fallas y sistemas de control de seguridad para transportadores de banda. Mining Science and Technology (China), 29(6), 903-910.

Zhang, Z. y Sun, H. (2018). Sistema inteligente de diagnóstico de fallas para transportadores de banda en minas. Revista de la Universidad de Minería y Tecnología de China, 47(4), 856-863.

McCormac, J. C., & Csernak, S. F. (2012). Diseño de estructuras de acero (5.ª ed.). Alfaomega.

Anglo American. (2021). Criterios de Diseño Estructural para operaciones mineras (MQ 11-02-DC-0000-SC 0001_4). Proyecto Quellaveco.

Caipo. (2021). Diseño de una faja transportadora eficiente para el transporte de concentrado de cobre [Tesis de pregrado]. Repositorio Institucional.

Continental. (2019). Manual de diseño de fajas transportadoras. Continental ContiTech.

Conveyor Equipment Manufacturers Association [CEMA]. (2014). Belt Conveyors for Bulk Materials (7.ª ed.). CEMA.

García Palencia, O. (2012). Gestión integral de mantenimiento. Ediciones de la U.

Heredia & Velásquez. (2021). Desarrollo de un prototipo de automatización usando el controlador SIMATIC S7 1200 [Tesis de pregrado]. Repositorio Institucional.

Mamani. (2021). El mantenimiento de equipos en operaciones mineras [Tesis de pregrado]. Repositorio Institucional.

Mendoza. (2018). Automatización de una faja transportadora subterránea de 7 km [Tesis de pregrado]. Repositorio Institucional.

Mine Safety and Health Administration [MSHA]. (2021). Code of Federal Regulations - Title 30 Mineral Resources. U.S. Department of Labor.

Miravete, A., & Larrodé, E. (1998). Transportadores y elevadores. Universidad de Zaragoza.

Ramos. (2019). Diseño de un sistema de parada de emergencia para optimizar la seguridad en el transporte de mineral [Tesis de pregrado]. Repositorio Institucional.

Society for Mining, Metallurgy & Exploration [SME]. (2020). Mining Engineering Handbook. SME.

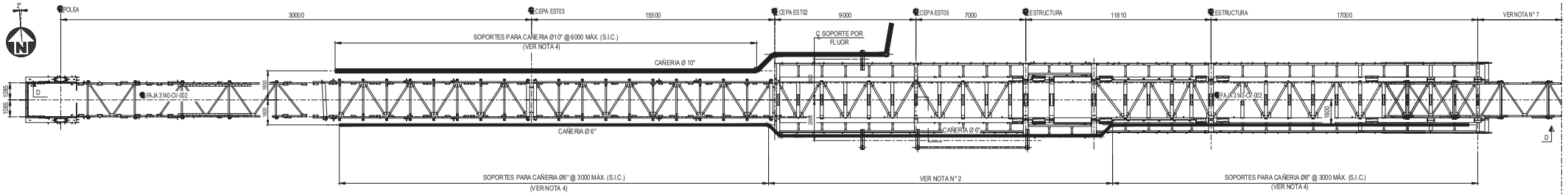
thyssenkrupp Industrial Solutions. (2019). Memoria de Cálculo - Diseño Estructural Faja 3140-CV-002 (M5520D-030501-3140-CA-ES-0002). Proyecto Quellaveco.

Vallejos & Morales. (2020). Mantenimiento manual y accidentes laborales durante la detención de sistemas transportadores [Tesis de pregrado]. Repositorio Institucional.

Wilson, E. L. (2002). Three-Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures. Computers and Structures, Inc.

VII. Anexos

A1. Plano General de la FT 3140-CV-002 y planos a detalle de Módulos Estructurales

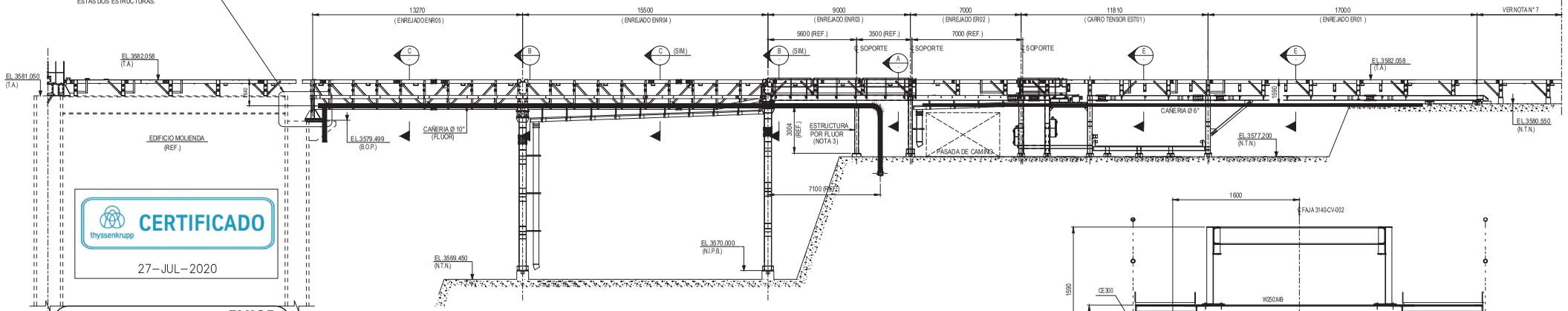


CONVEYOR BELT 72" PLAN (3140-CV-002)

ESC :1:125

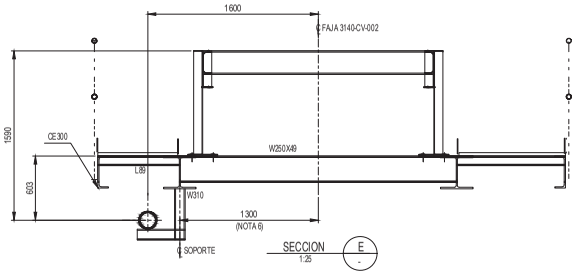
CONSIDERAR QUE EN ESTA ZONA EXISTE UNA CONEXION DE SLIZANTE ENTRE LA ESTRUCTURA DE LA FAJA Y LA PLATAFORMA DEL EDIFICIO DE MOLIENDA (POR FLUOR)

EL DISEÑO DE LA RED DE INCENDIO DEBERÁ PERMITIR EL DESLIZAMIENTO LIBRE ENTRE ESTAS DOS ESTRUCTURAS.

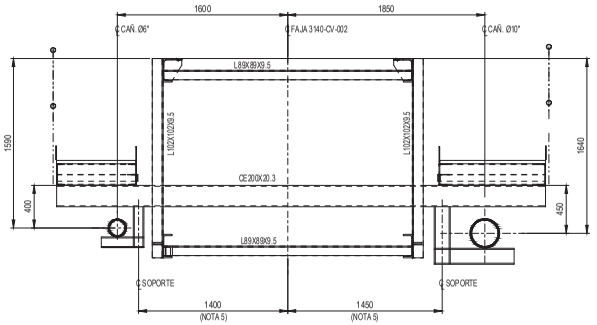


SECCION D - D

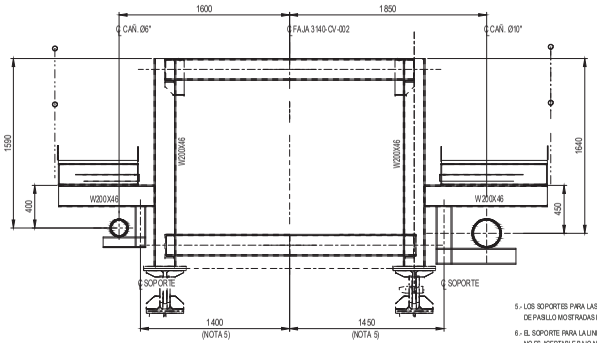
ESC: 1:125



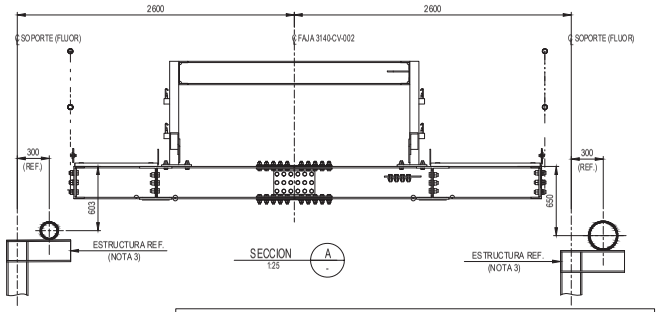
SECCION E
1:25



SECCION C
1:25



SECCION B
1:25



SECCION A
1:25

D – DATA ACCEPTED FOR INFORMATION ONLY

Authorization to proceed does not relieve Contractor/Supplier of its responsibility or liability under the Contract and or Purchase Order.

By Felix Carrasco at Aug 17, 2020

FLUOR

thyssenkrupp CERTIFICADO

27–JUL–2020

5.- LOS SOPORTES PARA LAS LINEAS DE 10" Y 6", DEBERAN SER MONTADOS EN LA VIGA DE PASILLO MOSTRADAS EN SECCIONES "B" Y "C".

6.- EL SOPORTE PARA LA LINEA DE 6" TIENE QUE SER MONTADO EN LA VIGA PRINCIPAL (W310) NO ES ACEPTABLE BAJO NINGUN MOTIVO UTILIZAR OTRA ESTRUCTURA PARA SOPORTACION.

7.- THYSSENKRUPP NO RECOMIENDA QUE LA LINEA DE 6" SE SOPORTE EN LAS ESTRUCTURAS DE LAS MESAS HACIA EL INTERIOR TUNEL DEL STOCKPILE, YA QUE SE PODRIAN GENERAR INTERFERENCIAS EN EL MONTAJE Y LA MANTENIBILIDAD DE EQUIPOS, COMPONENTES MECANICOS Y PROBLEMAS CON EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DE ELEMENTOS DE MEDICION Y CONTROL.

DOMUMENTOS AFINES:

M5520D-030501-3140-CA-ES-0005 ..... MEMORIA DE CALCULO VERIFICACION ESTRUCTURAL RED DE INCENDIOS FAJA 3140-CV-002

REV	DATE	DESCRIPTION	PROJECTED CHECKED	DISCIPLINE LEAD	ENGINEERING MANAGER	AREA MANAGER	CLIENT
			/				
			/				
			/				
			/				
0	27-07-2020	APROBADO POR EL CLIENTE	IN / RCE	MRT	MRT	CK	
B	25-06-2020	EMITIDO PARA REVISION DEL CLIENTE	FY / RCE	MRT	MRT	CK	
A	16-06-2020	EMITIDO PARA REVISION INTERNA	FY / RCE	MRT	MRT	CK	

REV	DATE	DESCRIPTION	PROJECTED CHECKED	DISCIPLINE LEAD	ENGINEERING MANAGER	AREA MANAGER	CLIENT	DRAWING NUMBER	REFERENCE DRAWING
			/						
			/						
			/						
			/						
			/					M5520D-030502-3140-04-ES-0010	PLANOS DE DISEÑO ESTRUCTURAL

thyssenkrupp

NOTES

1.- DIMENSIONES EN MILIMETROS (mm), ELEVACIONES EN METROS (m)

2.- VER MEMORIA DE CALCULO M5520D-030501-3140-CA-ES-0005 ITEMS N° 9 C/ CONCLUSIONES ZONA DONDE LA ESTRUCTURA DE LA FAJA 3140-CV-002 NO ADMITE SOPORTACION PARA LAS LINEAS DE 10" Y 6" RED DE INCENDIOS.

3.- ESTRUCTURA DE SOPORTE POR FLUOR PARA LA ZONA DE TRANSICION Y CAMBIO DE ELEVACION DE LAS LINEAS DE 10" Y 6" RED DE INCENDIOS.

4.- EL DISEÑO Y MONTAJE DE LOS SOPORTES PARA LAS LINEAS DE 10" Y 6" DE LA RED DE INCENDIOS ES POR OTROS Y NO ES ALCANCE DE LA INGENIERIA THYSSENKRUPP.

FLUOR PROYECTO QUELLAVECO

ESTE PLANO HA SIDO PREPARADO POR THYSSENKRUPP Y ES PROPIEDAD DEL CLIENTE ANGLO AMERICAN QUELLAVECO Y DEBERA UTILIZARSE UNICAMENTE PARA LOS FINES CONTEMPLADOS EN EL CONTRATO.

PROYECTO N° M5520D

AngloAmerican

AA QUELLAVECO S.A.

	DATE	NAME
PROJECTED	27-07-2020	R.CARDENAS
CHECKED	27-07-2020	F.YEVENES
JEFE DISC.	27-07-2020	C.RUBIO
GER. ING.	27-07-2020	C.RUBIO
GER. AREA	27-07-2020	C.TURNER
CLIENTE		

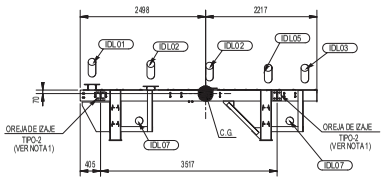
PROJECT: QUELLAVECO PROJECT
MAIN AREA: PAPUJUNE PLANT
SUB AREA: MILLING AND PEBBLES
SECTOR: STOCKPILE AND SAG MILL
CONTENT: CONVEYOR 72" (3140-CV-002)
SKETCH ALTERNATIVA LINEA RED DE INCENDIO

SCALE: INDICATED

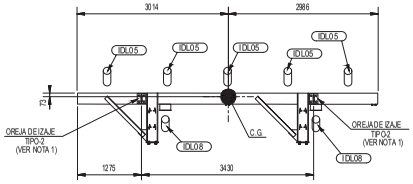
DRAWING NUMBER: M5520D-030502-3140-04-ES-0002

0

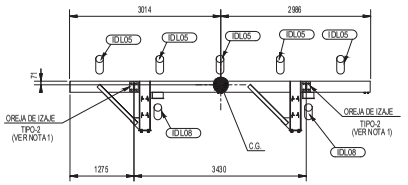
FORMATO: ISO-A1 (841X594mm)



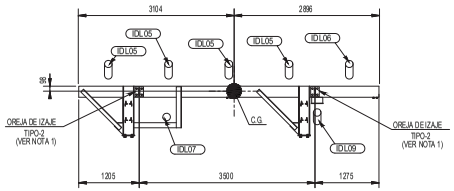
ELEVACION MODULO-33
1:50 (CANT.1)



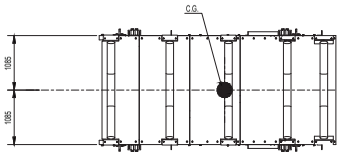
ELEVACION MODULO-34
1:50 (CANT.1)



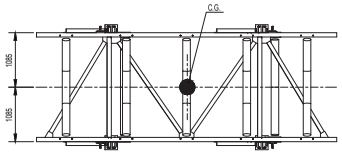
ELEVACION MODULO-35
1:50 (CANT.1)



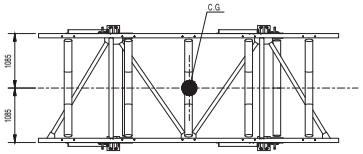
ELEVACION MODULO-36
1:50 (CANT.1)



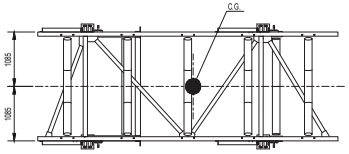
PLANTA MODULO-33
1:50



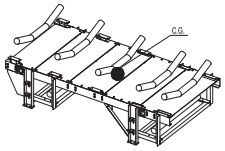
PLANTA MODULO-34
1:50



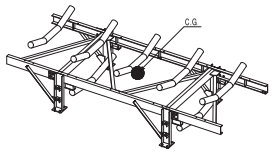
PLANTA MODULO-35
1:50



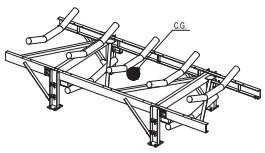
PLANTA MODULO-36
1:50



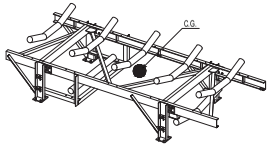
3D MODULO-33
1:60



3D MODULO-34
1:60



3D MODULO-35
1:60



3D MODULO-36
1:60

LISTADO MODULO-33

ITEM	TAG	DESCRIPCION	CANT.	PESO UNIT. kg	PESO TOTAL kg
1	3140-CV-002-IDL01	EST. POLIN DE TRANSICION 5° A 20° (NOTA 6)	1	123.5	123.5
2	3140-CV-002-IDL02	EST. POLIN DE TRANSICION 15° A 30° (NOTA 6)	2	129.5	259.0
3	3140-CV-002-IDL03	EST. POLIN DE IMPACTO 35° (NOTA 6)	1	212.0	212.0
4	3140-CV-002-IDL05	EST. POLIN DE CARGA 35° (NOTA6)	1	119.5	119.5
5	3140-CV-002-IDL07	EST. POLIN PLANO DE RETORNO (NOTA 6)	2	47.0	94.0
6		ESTRUCTURA	-	-	1195.3
7		PERNOS			—
				PESO TOTAL	2003.3

LISTADO MODULO-34

ITEM	TAG	DESCRIPCION	CANT.	PESO UNIT. kg	PESO TOTAL kg
1	3140-CV-002-IDL05	EST. POLIN DE CARGA 35° (NOTA 6)	5	119.5	597.5
2	3140-CV-002-IDL08	EST. POLIN DE RETORNO EN V 10° (NOTA 6)	2	83.0	166.0
3		ESTRUCTURA	-	-	770.6
4		PERNOS			—
				PESO TOTAL	1534.1

LISTADO MODULO-35

ITEM	TAG	DESCRIPCION	CANT.	PESO UNIT. kg	PESO TOTAL kg
1	3140-CV-002-IDL05	EST. POLIN DE CARGA 35° (NOTA 6)	5	119.5	597.5
2	3140-CV-002-IDL08	EST. POLIN DE RETORNO EN V 10° (NOTA 6)	2	83.0	166.0
3		ESTRUCTURA	-	-	770.6
4		PERNOS			— —
				PESO TOTAL	1534.1

LISTADO MODULO-37

ITEM	TAG	DESCRIPCION	CANT.	PESO UNIT. kg	PESO TOTAL kg
1	3140-CV-002-IDL05	EST. POLIN DE CARGA 35° (NOTA 6)	4	119.5	478.0
2	3140-CV-002-IDL06	EST. POLIN AUTOALINEANTE DE CARGA 35° (NOTA6)	1	183.5	183.5
3	3140-CV-002-IDL07	EST. POLIN PLANO DE RETORNO (NOTA6)	1	47.0	47.0
4	3140-CV-002-IDL09	EST POLIN AUTOALINEANTE DE RETORNO EN V 10° (NOTA6)	1	159.0	159.0
5		ESTRUCTURA	-	-	847.8
6		PERNOS			—
				PESO TOTAL	1715.3

thyssenkrupp CERTIFICADO
10–ABR–2020

FLUOR.
D – DATA ACCEPTED FOR INFORMATION ONLY
Authorization to proceed does not relieve Contractor/Supplier of its responsibility or liability under the Contract and or Purchase Order.
By Camilo Orellana at Apr 23, 2020

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	PROYECTO REVISO	JEFE DE DISCIPLINA	GERENTE INGENIERIA	GERENTE AREA	CLIENTE
			/				
			/				
			/				
			/				
1	1/04/2020	EMITIDO PARA CONSTRUCCION	SAV / RCE	PMG	MRT	CK	
0	2/03/2020	EMITIDO PARA CONSTRUCCION	SAV / RCE	PMG	MRT	CK	
B	2/01/2020	EMITIDO PARA REVISION DEL CLIENTE	FSZ / FEM	PMG	MRT	SPR	
A	0/00/1900	EMITIDO PARA REVISION INTERNA	FSZ / FEM	PMG	MRT	SPR	

REV.	FECHA	DESCRIPCION	PROYECTO REVISO	JEFE DE DISCIPLINA	GERENTE INGENIERIA	GERENTE AREA	CLIENTE	NUMERO DE PLANO
			/					
			/					
			/					
			/					
			/					
			/					
			/					

PLANEST
Planos Estructurales

PLANO REFERENCIA

thyssenkrupp

NOTAS
1.- DETALLE DE OREJAS DE IZAJE PLANO N° M9520D-030502-3140-13-GA-0200-MD013.
2.- CUANDO SE INDICA ESTACION DE POLIN, ESTA UNIDAD INCLUYE SU MARCO DE ESTRUCTURA CORRESPONDIENTE
3.- VER DOCUMENTOS COMPLEMENTARIOS EN PLANO N° M9520D-030502-3140-13-GA-0200-MD001
4.-ESTE PLANO TRABAJA CON LOS PLANOS DE MODULARIZACION N° M9520D-030502-3140-13-GA-0200-MD001 / MD002 / MD003 / MD004 / MD005 / MD006 /MD007 / MD008 / MD009 / MD011 / MD012 / MD013 / MD014.
5.-DIMENSIONES EN MILIMETROS (mm)

FLUOR.
PROYECTO QUELLAVECO

ESTE PLANO HA SIDO PREPARADO POR THYSSENKRUPP CHILE S.A. Y ES PROPIEDAD DEL CLIENTE ANGLO AMERICAN QUELLAVECO Y DEBERA UTILIZARSE UNICAMENTE PARA LOS FINES CONTEMPLADOS EN EL CONTRATO.

PROYECTO N° M5520D

AngloAmerican

AA QUELLAVECO S.A.

	FECHA	NOMBRE
PROYECTO	10/10/19	P.BUSTAMANTE M.
REVISO	10/10/19	CP OBLETE P.
JEFE DISC.	10/10/19	PMIRANDA G.
GER. ING.	10/10/19	M.RUBIO T.
GER. AREA	10/10/19	S.PACHECO R.
CLIENTE		

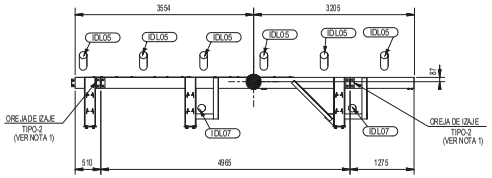
PROYECTO: QUELLAVECO
AREA PRINCIPAL: PLANTA PAPUJUNE
SUB AREA: MOLIENDA Y PEBBLES
SECTOR DEL AREA: CHANCADO DE PEBBLES
CONTENIDO: FAJA TRANSPORTADORA 72" (3140-CV-002) MODULO-33 MODULO-34 MODULO-35 MODULO-36

ESCALA

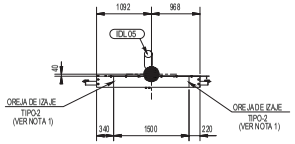
NUMERO DE PLANO: M5520D-030502-3140-13-GA-0200-MD010

1

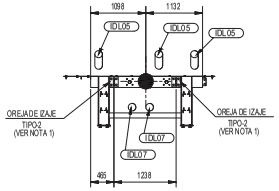
ESTE DIBUJO ES DE LA EXCLUSIVA PROPIEDAD DE THYSSENKRUPP CHILE S.A. Y NO PUEDE SER COPIADO O REPRODUCIDO SIN SU AUTORIZACION



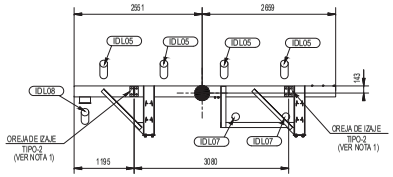
ELEVACION MODULO-37
1:50 (CANT.1)



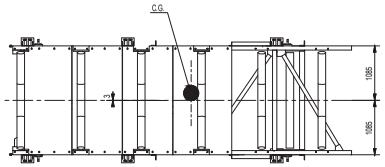
ELEVACION MODULO-38
1:50 (CANT.1)



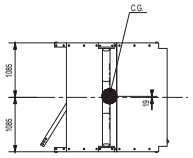
ELEVACION MODULO-39
1:50 (CANT.1)



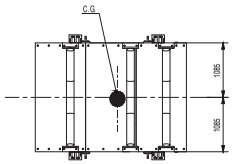
ELEVACION MODULO-40
1:50 (CANT.1)



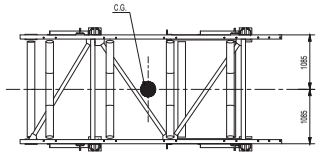
PLANTA MODULO-37
1:50



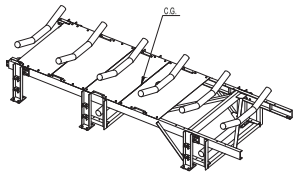
PLANTA MODULO-38
1:50



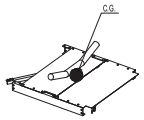
PLANTA MODULO-39
1:50



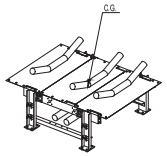
PLANTA MODULO-40
1:50



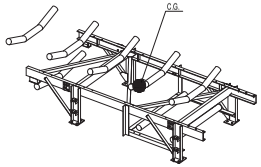
3D MODULO-37
1:60



3D MODULO-38
1:60



3D MODULO-39
1:60



3D MODULO-40
1:60

LISTADO MODULO-37

ITEM	TAG	DESCRIPCION	CANT.	PESO UNIT. kg	PESO TOTAL kg
1	3140-CV-002-IDL05	EST. POLIN DE CARGA 35° (NOTA 6)	6	119.5	717.0
2	3140-CV-002-IDL07	EST. POLIN PLANO DE RETORNO (NOTA 6)	2	47.0	94.0
3		ESTRUCTURA	-	-	1335.0
4		PERNOS			—
				PESO TOTAL	2146.0

LISTADO MODULO-38

ITEM	TAG	DESCRIPCION	CANT.	PESO UNIT. kg	PESO TOTAL kg
1	3140-CV-002-IDL05	EST. POLIN DE CARGA 35° (NOTA 6)	1	119.5	119.5
2		ESTRUCTURA	-	-	328.6
3		PERNOS			—
				PESO TOTAL	448.1

LISTADO MODULO-39

ITEM	TAG	DESCRIPCION	CANT.	PESO UNIT. kg	PESO TOTAL kg
1	3140-CV-002-IDL05	EST. POLIN DE CARGA 35° (NOTA 6)	3	119.5	358.5
2	3140-CV-002-IDL07	EST. POLIN PLANO DE RETORNO (NOTA 6)	2	47.0	94.0
3		ESTRUCTURA	-	-	697.0
		PERNOS			—
				PESO TOTAL	1.149.5

LISTADO MODULO-40

ITEM	TAG	DESCRIPCION	CANT.	PESO UNIT. kg	PESO TOTAL kg
1	3140-CV-002-IDL05	EST. POLIN DE CARGA 35° (NOTA 6)	4	119.5	478.0
2	3140-CV-002-IDL07	EST. POLIN PLANO DE RETORNO (NOTA 6)	2	47.0	94.0
3	3140-CV-002-IDL08	EST. POLIN DE RETORNO ENV 10° (NOTA 6)	1	83.0	83.0
4		ESTRUCTURA	-	-	794.6
5		PERNOS			—
				PESO TOTAL	1449.6

CERTIFICADO
thyssenkrupp
10–ABR–2020

FLUOR.
D – DATA ACCEPTED FOR INFORMATION ONLY
Authorization to proceed does not relieve Contractor/Supplier of its responsibility or liability under the Contract and or Purchase Order.
By Camilo Orellana at Apr 23, 2020

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	PROYECTO REVISÓ	JEFE DE DISCIPLINA	GERENTE INGENIERÍA	GERENTE ÁREA	CLIENTE
			/				
			/				
			/				
			/				
1	10/04/2020	EMITIDO PARA CONSTRUCCION	SAV / RCE	PMG	MRT	CK	
0	2/04/2020	EMITIDO PARA CONSTRUCCION	SAV / RCE	PMG	MRT	CK	
B	2/01/2020	EMITIDO PARA REVISION DEL CLIENTE	FSZ / PEM	PMG	MRT	SPR	
A	6/01/2020	EMITIDO PARA REVISION INTERNA	FSZ / PEM	PMG	MRT	SPR	

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	PROYECTO REVISÓ	JEFE DE DISCIPLINA	GERENTE INGENIERÍA	GERENTE ÁREA	CLIENTE
			/				
			/				
			/				
			/				
			/				
			/				
			/				
			/				

NUMERO DE PLANO

PLANEST
Planos Estructurales
PLANO REFERENCIA

thyssenkrupp

NOTAS
1.- DETALLE DE OREJAS DE IZAJE PLANO N° M9520D-030502-3140-13-GA-0200-MD013.
2.- CUANDO SE INDICA ESTACION DE POLIN, ESTA UNIDAD INCLUYE SU MARCO DE ESTRUCTURA CORRESPONDIENTE
3.- VER DOCUMENTOS COMPLEMENTARIOS EN PLANO N° M9520D-030502-3140-13-GA-0200-MD0011
4.-ESTE PLANO TRABAJA CON LOS PLANOS DE MODULARIZACION N° M9520D-030502-3140-13-GA-0200-MD0011 / MD002 / MD003 / MD004 / MD005 / MD006 /MD007 / MD008 / MD009 / MD010 / MD012 / MD013 / MD014.
5.- DIMENSIONES EN MILIMETROS (mm)

FLUOR.
PROYECTO QUELLAVECO

ESTE PLANO HA SIDO PREPARADO POR THYSSENKRUPP CHILE S.A. Y ES PROPIEDAD DEL CLIENTE ANGLO AMERICAN QUELLAVECO Y DEBERA UTILIZARSE UNICAMENTE PARA LOS FINES CONTEMPLADOS EN EL CONTRATO.

PROYECTO N° M5520D

AngloAmerican

	FECHA	NOMBRE
PROYECTO	10/01/19	P.BUSTAMANTE M.
REVISO	10/01/19	CP OBLETE P.
JEFE DISC.	10/01/19	PMIRANDA G.
GER. ING.	10/01/19	M.RIBO T.
GER. AREA	10/01/19	S.PAQUEO R.
CLIENTE		

AA QUELLAVECO S.A.

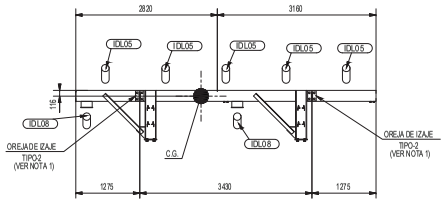
PROYECTO	QUELLAVECO
AREA PRINCIPAL	PLANTA PAPUJUNE
SUB AREA	MOLIENDA Y PEBBLES
SECTOR DEL AREA	CHANCADO DE PEBBLES
CONTENIDO	FAJA TRANSPORTADORA 72" (3140-CV-002) MODULO-37 MODULO-38 MODULO-39 MODULO-40

ESCALA

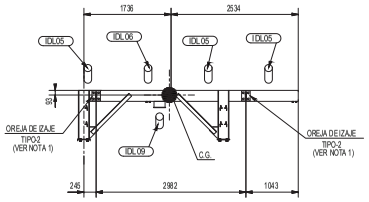
NUMERO DE PLANO
M5520D-030502-3140-13-GA-0200-MD011

1

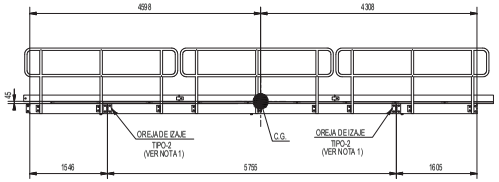
F-DSN-0073 - ISO A1 (841x594mm)



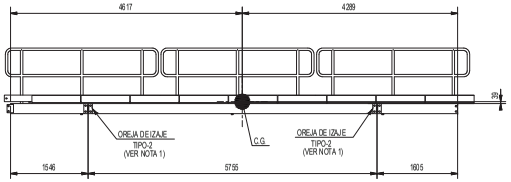
ELEVACION MODULO-41
1:50 (CANT.1)



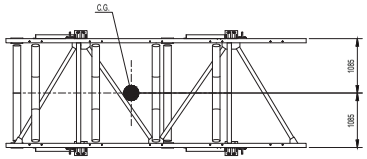
ELEVACION MODULO-42
1:50 (CANT.1)



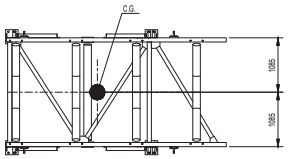
ELEVACION MODULO-43
1:50 (CANT.1)



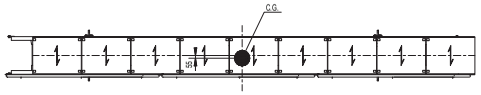
ELEVACION MODULO-44
1:50 (CANT.1)



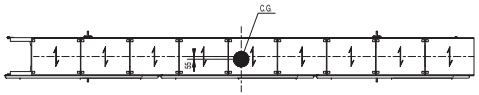
PLANTA MODULO-41
1:50 (CANT.1)



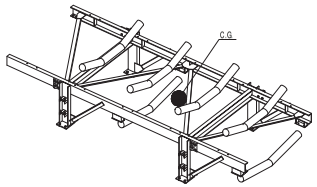
ELEVACION MODULO-42
1:50 (CANT.1)



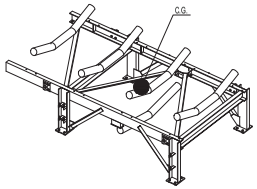
ELEVACION MODULO-43
1:50 (CANT.1)



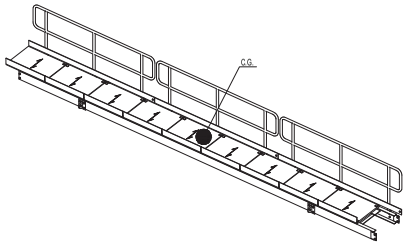
ELEVACION MODULO-44
1:50 (CANT.1)



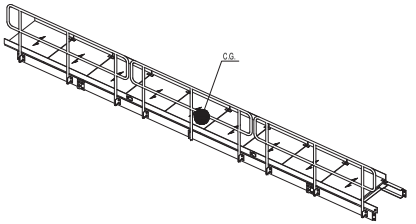
PLANTA MODULO-41
1:50



PLANTA MODULO-42
1:50



PLANTA MODULO-43
1:50



PLANTA MODULO-44
1:50

LISTADO MODULO-41

ITEM	TAG	DESCRIPCION	CANT.	PESO UNIT. kg	PESO TOTAL kg
1	3140-CV-002-IDL05	EST. POLIN DE IMPACTO 35° (NOTA 2)	5	119.5	597.5
2	3140-CV-002-IDL08	EST. POLIN DE RETORNO EN V 10° (NOTA2)	2	83.0	166.0
3		ESTRUCTURA	-	-	770.6
4		PERNOS			---
				PESO TOTAL	1534.1

LISTADO MODULO-42

ITEM	TAG	DESCRIPCION	CANT.	PESO UNIT. kg	PESO TOTAL kg
1	3140-CV-002-IDL05	EST. POLIN DE IMPACTO 35° (NOTA 2)	3	119.5	358.5
2	3140-CV-002-IDL06	EST. POLIN AUTOALINEANTE DE CARGA 35° (NOTA 2)	1	183.5	183.5
3	3140-CV-002-IDL09	EST. POLIN AUTO DE RETORNO EN V 10° (NOTA2)	1	199.0	199.0
4		ESTRUCTURA	-	-	649.4
5		PERNOS			---
				PESO TOTAL	1350.4

LISTADO MODULO-43

ITEM	TAG	DESCRIPCION	CANT.	PESO UNIT. kg	PESO TOTAL kg
1		ESTRUCTURA	-		1113.2
2		PERNOS			---
				PESO TOTAL	1113.2

LISTADO MODULO-44

ITEM	TAG	DESCRIPCION	CANT.	PESO UNIT. kg	PESO TOTAL kg
1		ESTRUCTURA	-		1245.2
2		PERNOS			---
				PESO TOTAL	1245.2

thyssenkrupp CERTIFICADO

10-ABR-2020

FLUOR

D – DATA ACCEPTED FOR INFORMATION ONLY

Authorization to proceed does not relieve Contractor/Supplier of its responsibility or liability under the Contract and or Purchase Order.

By Camilo Orellana at Apr 23, 2020

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	PROYECTO REVISO	JEFE DE DISCIPL.	GERENTE INGENIERIA	GERENTE AREA	CLIENTE
			/				
			/				
			/				
			/				
1	07.04.2020	EMITIDO PARA CONSTRUCCION	SAV / RCE	PMG	MRT.	CK	
0	26.02.20	EMITIDO PARA CONSTRUCCION	SAV / RCE	PMG	MRT.	CK	
B	21.01.20	EMITIDO PARA REVISION DEL CLIENTE	FSZ / PEM	PMG	MRT.	SIR	
A	06.01.20	EMITIDO PARA REVISION INTERNA	FSZ / PEM	PMG	MRT.	SIR	

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	PROYECTO REVISO	JEFE DE DISCIPLINA	GERENTE INGENIERIA	GERENTE AREA	CLIENTE	NUMERO DE PLANO	PLANO REFERENCIA
			/						
			/						
			/						
			/						
			/						
			/						
			/						

PLANEST Planos Estructurales

thyssenkrupp

NOTAS

1.- DETALLE DE OREJAS DE IZAJE PLANO N° M5520D-030502-3140-13-GA-0200-MD013...

2.- CUANDO SE INDICA ESTACION DE POLIN, ESTA UNIDAD INCLUYE SU MARCO DE ESTRUCTURA CORRESPONDIENTE

3.- VER DOCUMENTOS COMPLEMENTARIOS EN PLANO N° M5520D-030502-3140-13-GA-0200-MD001

4.- ESTE PLANO TRABAJA CON LOS PLANOS DE MODULARIZACION N° M5520D-030502-3140-13-GA-0200-MD001 / MD002 / MD003 / MD004 / MD005 / MD006 -MD007 / MD008 / MD009 / MD010 / MD011 / MD013 / MD014.

5.- DIMENSIONES EN MILIMETROS (mm).

FLUOR PROYECTO QUELLAVECO

ESTE PLANO HA SIDO PREPARADO POR TYSSENKRUPP CHILE S.A.Y ES PROPIEDAD DEL CLIENTE ANGLO AMERICAN QUELLAVECO Y DEBERA UTILIZARSE UNICAMENTE PARA LOS FINES CONTEMPLADOS EN EL CONTRATO.

PROYECTO N° M5520D

AngloAmerican

AA QUELLAVECO S.A.

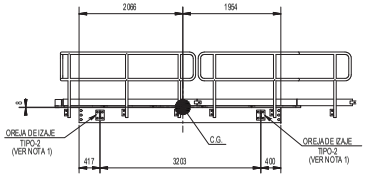
	FECHA	NOMBRE
PROYECTO	10/09	PESCOBAR M.
REVISO	10/09	CPOBLETE P.
JEFE DISC.	10/09	FMIRANDA G.
GER. ING.	10/09	M.MUÑOZ T.
GER. AREA	10/09	SPACHECO R.
CLIENTE		

PROYECTO: QUELLAVECO
AREA PRINCIPAL: PLANTA PAPUJUNE
SUB AREA: MOLIENDA Y PEBBLES
SECTOR DE LA AREA: CHANCADO DE PEBBLES
CONTENIDO: FAJA TRANSPORTADORA 72" (3140-CV-002) MODULO-41 MODULO-42 MODULO-43 MODULO-44

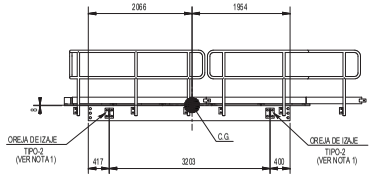
ESCALA

NUMERO DE PLANO: M5520D-030502-3140-13-GA-0200-MD012

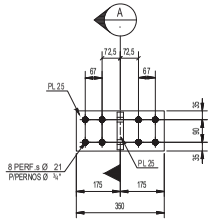
1



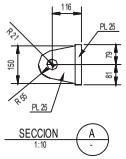
ELEVACION MODULO-45
1:50 (CANT.1)

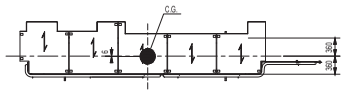


ELEVACION MODULO-46
1:50 (CANT.1)

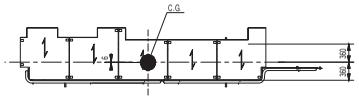


DETALLE OREJA TIPO-1
1:10

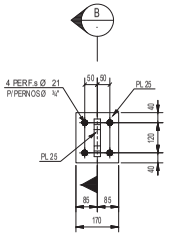




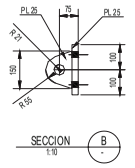
PLANTA MODULO-45
1:50

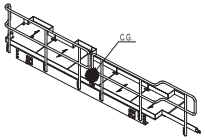


PLANTA MODULO-46
1:50

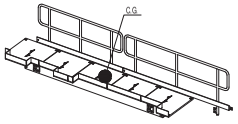


DETALLE OREJA TIPO-2
1:10

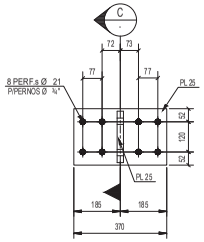




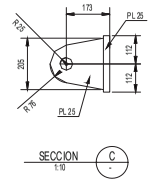
3D MODULO-45
1:60



3D MODULO-46
1:60



DETALLE OREJA TIPO-7
1:10



LISTADO MODULO-45

ITEM	TAG	DESCRIPCION	CANT.	PESO UNIT. kg	PESO TOTAL kg
1		ESTRUCTURA	-	-	798.8
2		PERNOS			—
				PESO TOTAL	798.8

LISTADO MODULO-46

ITEM	TAG	DESCRIPCION	CANT.	PESO UNIT. kg	PESO TOTAL kg
1		ESTRUCTURA	-	-	792.6
2		PERNOS			—
				PESO TOTAL	792.6

CERTIFICADO
thyssenkrupp
10–ABR–2020

FLUOR
D – DATA ACCEPTED FOR INFORMATION ONLY
Authorization to proceed does not relieve Contractor/Supplier of its responsibility or liability under the Contract and or Purchase Order.
By Camilo Orellana at Apr 23, 2020

PLANEST
Planos Estructurales

thyssenkrupp

FLUOR
PROYECTO QUELLAVECO

AngloAmerican

AA QUELLAVECO S.A.

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	PROYECTO REVISO	JEFE DE DISCIPLINA	GERENTE INGENIERIA	GERENTE AREA	CLIENTE
			/				
			/				
			/				
			/				
1	16/04/2020	EMITIDO PARA CONSTRUCCION	SAV / RCE	PMG	MRT.	CK	
0	26/02/20	EMITIDO PARA CONSTRUCCION	SAV / RCE	PMG	MRT.	CK	
B	21/01/20	EMITIDO PARA REVISION DEL CLIENTE	FSZ / PEM	PMG	MRT.	SIR	
A	08/01/20	EMITIDO PARA REVISION INTERNA	FSZ / PEM	PMG	MRT.	SIR	

REV.	FECHA	DESCRIPCION	PROYECTO REVISO	JEFE DE DISCIPLINA	GERENTE INGENIERIA	GERENTE AREA	CLIENTE
			/				
			/				
			/				
			/				
			/				
			/				
			/				

NUMERO DE PLANO

PLANO REFERENCIA

NOTAS
1.- DETALLE DE OREJAS DE IZAJE PLANO N° M5520D-030502-3140-13-GA-0200-MD013.
2.- CUANDO SE INDICA ESTACION DE POLIN, ESTA UNIDAD INCLUYE SU MARCO DE ESTRUCTURA CORRESPONDIENTE
3.- VER DOCUMENTOS COMPLEMENTARIOS EN PLANO N° M5520D-030502-3140-13-GA-0200-MD0001
4.- ESTE PLANO TRABAJA CON LOS PLANOS DE MODULARIZACION N° M5520D-030502-3140-13-GA-0200-MD0001 / MD0002 / MD0003 / MD004 / MD005 / MD006 -MD007 / MD008 / MD009 / MD010 / MD011 / MD012 / MD014.
5.- DIMENSIONES EN MILIMETROS (mm).

ESTE PLANO HA SIDO PREPARADO POR THYSSENKRUPP CHILE S.A.Y ES PROPIEDAD DEL CLIENTE ANGLO AMERICAN QUELLAVECO Y DEBERA UTILIZARSE UNICAMENTE PARA LOS FINES CONTEMPLADOS EN EL CONTRATO.

PROYECTO N° M5520D

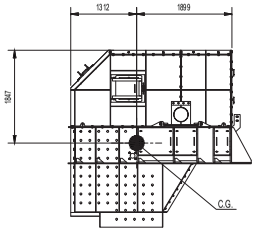
	FECHA	NOMBRE
PROYECTO	10/10/19	PESCOBAR M.
REVISO	10/10/19	CPOBLETE P.
JEFE DISC.	10/10/19	PMPARADAG.
GER. ING.	10/10/19	MMUBOT.
GER. ARA	10/10/19	SPACHECO R.
CLIENTE		

PROYECTO: QUELLAVECO
AREA PRINCIPAL: PLANTA PAPUJUNE
SUB AREA: MOLIENDA Y PEBBLES
SECTOR DE LA AREA: CHANCADO DE PEBBLES
CONTENIDO: FAJA TRANSPORTADORA 72" (3140-CV-002) MODULO-45 MODULO-46

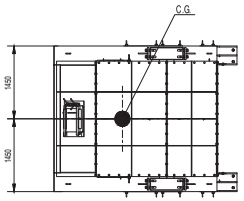
ESCALA

NUMERO DE PLANO: M5520D-030502-3140-13-GA-0200-MD013

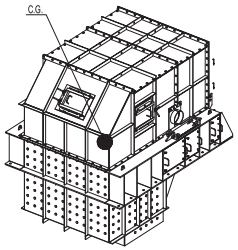
1



ELEVACION MODULO-47
1:50 (CANT. 1)

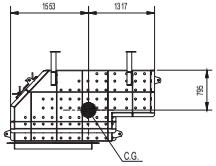


PLANTA MODULO-47
1:50 (CANT. 1)

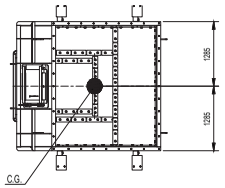


3D MODULO-47
1:50

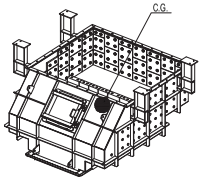
LISTADO MODULO-45					
ITEM	TAG	DESCRIPCION	CANT.	PESO UNIT. kg	PESO TOTAL kg
1		ESTRUCTURA	-		7111.1
2		PERNOS			---
				PESO TOTAL	7111.1



ELEVACION MODULO-48
1:50 (CANT.1)

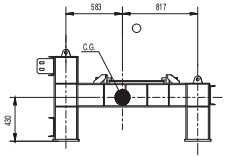


PLANTA MODULO-48
1:50 (CANT.1)

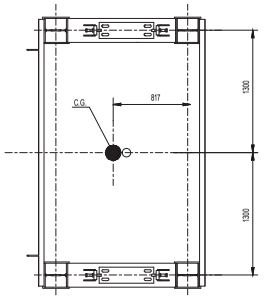


3D MODULO-48
1:50

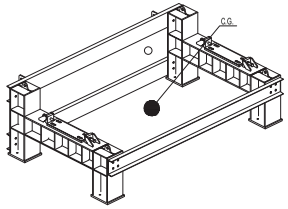
LISTADO MODULO-46					
ITEM	TAG	DESCRIPCION	CANT.	PESO UNIT. kg	PESO TOTAL kg
1		ESTRUCTURA	-		437.1.6
2		PERNOS			---
				PESO TOTAL	437.1.6



ELEVACION MODULO-49
1:50 (CANT.1)



PLANTA MODULO-49
1:50



3D MODULO-49
1:50

LISTADO MODULO-49					
ITEM	TAG	DESCRIPCION	CANT.	PESO UNIT. kg	PESO TOTAL kg
1		ESTRUCTURA	-	-	643.0
2		PERNOS			---
				PESO TOTAL	643.0

CERTIFICADO
thyssenkrupp
10–ABR–2020

FLUOR
D – DATA ACCEPTED FOR INFORMATION ONLY
Authorization to proceed does not relieve Contractor/Supplier of its responsibility or liability under the Contract and or Purchase Order.
By Camilo Orellana at Apr 23, 2020

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	PROYECTO REVISO	JEFE DE DISCIPLINA	GERENTE INGENIERIA	GERENTE AREA	CLIENTE
			/				
			/				
			/				
			/				
1	16-04-2020	EMITIDO PARA CONSTRUCCION	SAV / RCE	PMG	MRT.	CK	
0	28-02-20	EMITIDO PARA CONSTRUCCION	SAV / RCE	PMG	MRT.	CK	
B	21-01-20	EMITIDO PARA REVISION DEL CLIENTE	FSZ / PEM	PMG	MRT.	SIR	
A	06-01-20	EMITIDO PARA REVISION INTERNA	FSZ / PEM	PMG	MRT.	SIR	

REV.	FECHA	DESCRIPCION	PROYECTO REVISO	JEFE DE DISCIPLINA	GERENTE INGENIERIA	GERENTE AREA	CLIENTE	NUMERO DE PLANO	PLANO REFERENCIA
			/						
			/						
			/						
			/						
			/						
			/						
			/						

PLANEST
Planos Estructurales

thyssenkrupp

NOTAS
1.- DETALLE DE OREJAS DE IZAJE PLANO N° M5520D-030502-3140-13-GA-0200-MD013.
2.- CUANDO SE INDICA ESTACION DE POLIN, ESTA UNIDAD INCLUYE SU MARCO DE ESTRUCTURA CORRESPONDIENTE
3.- VER DOCUMENTOS COMPLEMENTARIOS EN PLANO N° M5520D-030502-3140-13-GA-0200-MD001
4.- ESTE PLANO TRABAJA CON LOS PLANOS DE MODULARIZACION N° M5520D-030502-3140-13-GA-0200-MD001 / MD002 / MD003 / MD004 / MD005 / MD006 -MD007 / MD008 / MD009 / MD010 / MD011 / MD012 / MD013.
5.- DIMENSIONES EN MILIMETROS (mm).

FLUOR
PROYECTO QUELLAVECO

ESTE PLANO HA SIDO PREPARADO POR THYSSENKRUPP CHILE S.A.Y ES PROPIEDAD DEL CLIENTE ANGLO AMERICAN QUELLAVECO Y DEBERA UTILIZARSE UNICAMENTE PARA LOS FINES CONTEMPLADOS EN EL CONTRATO.

PROYECTO N° M5520D

AngloAmerican

AA QUELLAVECO S.A.

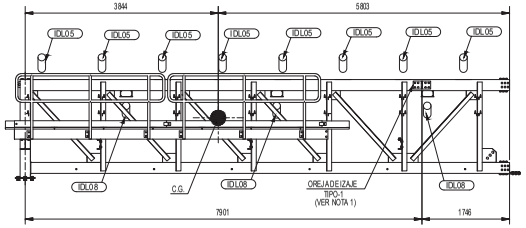
	FECHA	NOMBRE
PROYECTO	10/09/19	PEBCOBAR M.
REVISO	10/09/19	CPOBLETE P.
JEFE DISC.	10/09/19	FMARADIAG.
GER. ING.	10/09/19	M.MUÑOZ T.
GER. AREA	10/09/19	SPACHECO R.
CLIENTE		

PROYECTO: QUELLAVECO
AREA PRINCIPAL: PLANTA PAPUJUNE
SUB AREA: MOLIENDA Y PEBBLES
SECTOR DE LA AREA: CHANCADO DE PEBBLES
CONTENIDO: FAJA TRANSPORTADORA 72" (3140-CV-002) MODULO-47 MODULO-48

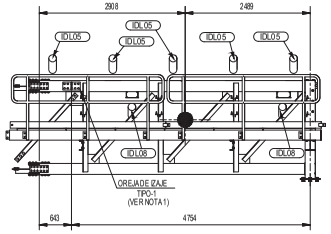
ESCALA

NUMERO DE PLANO: M5520D-030502-3140-13-GA-0200-MD014

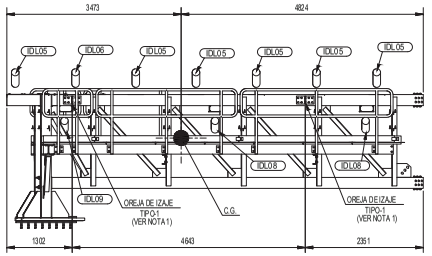
1



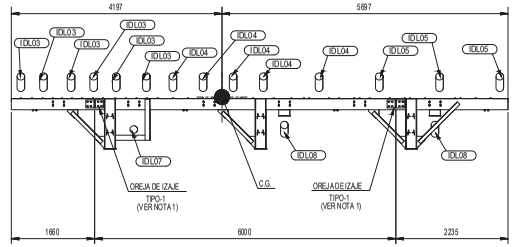
ELEVACION MODULO-29
1:50 (CANT.1)



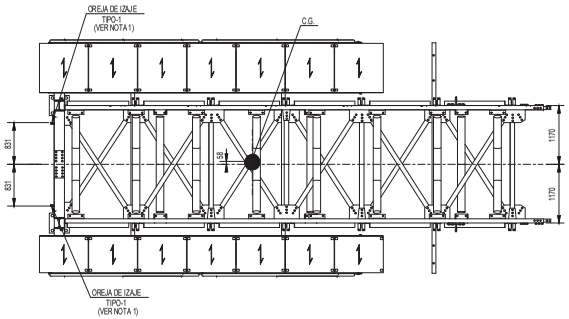
ELEVACION MODULO-30
1:50 (CANT.1)



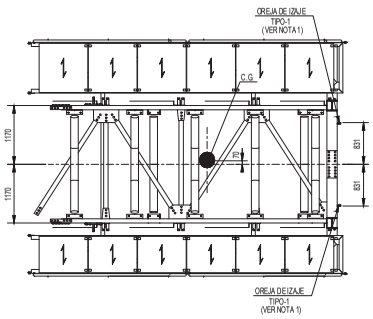
ELEVACION MODULO-31
1:50 (CANT.1)



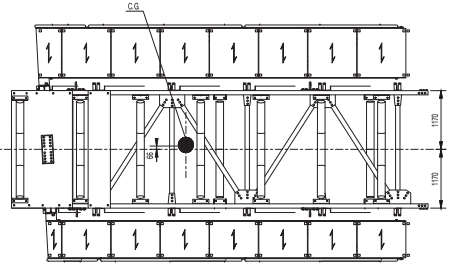
ELEVACION MODULO-32
1:50 (CANT.1)



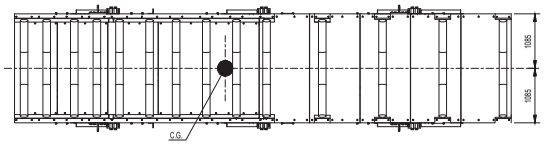
PLANTA MODULO-29
1:50



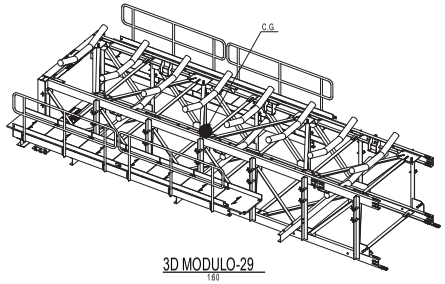
PLANTA MODULO-30
1:50



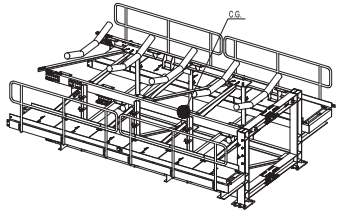
PLANTA MODULO-31
1:50



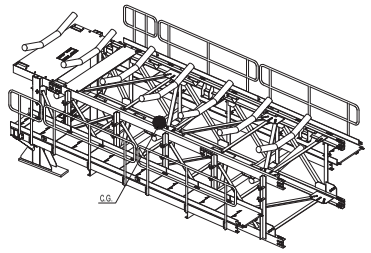
PLANTA MODULO-32
1:50



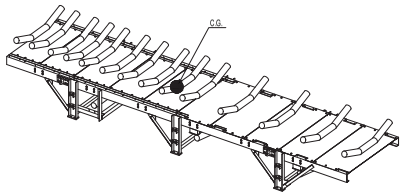
3D MODULO-29
1:60



3D MODULO-30
1:60



3D MODULO-31
1:60



3D MODULO-32
1:60

LISTADO MODULO-29					
ITEM	TAG	DESCRIPCION	CANT.	PESO UNIT. kg	PESO TOTAL kg
1	3140-CV-002-IDL05	EST. POLIN DE CARGA 35° (NOTA 2)	8	119.5	956.0
2	3140-CV-002-IDL08	EST. POLIN DE RETORNO EN V 10° (NOTA 2)	3	83.0	249.0
3		ESTRUCTURA	-	-	5382.1
4		PERNOS			---
				PESO TOTAL	6587.1

LISTADO MODULO-30					
ITEM	TAG	DESCRIPCION	CANT.	PESO UNIT. kg	PESO TOTAL kg
1	3140-CV-002-IDL05	EST. POLIN DE CARGA 35° (NOTA 2)	5	119.5	597.5
2	3140-CV-002-IDL08	EST. POLIN DE RETORNO EN V 10° (NOTA 2)	2	83.0	166.0
3		ESTRUCTURA	-	-	4085.5
4		PERNOS			---
				PESO TOTAL	4849.0

LISTADO MODULO-31					
ITEM	TAG	DESCRIPCION	CANT.	PESO UNIT. kg	PESO TOTAL kg
1	3140-CV-002-IDL05	EST. POLIN DE CARGA 35° (NOTA 2)	6	119.5	717.0
2	3140-CV-002-IDL06	EST. POLIN AUTOUNIENTE DE CARGA 35° (NOTA2)	1	183.5	183.5
3	3140-CV-002-IDL08	EST. POLIN DE RETORNO EN V 10° (NOTA 2)	2	83.0	166.0
4	3140-CV-002-IDL09	EST. POLIN AUTO. DE RETORNO EN V 10° (NOTA 2)	1	159.0	159.0
5		ESTRUCTURA	-	-	5548.2
6		PERNOS			---
				PESO TOTAL	6773.7

LISTADO MODULO-32					
ITEM	TAG	DESCRIPCION	CANT.	PESO UNIT. kg	PESO TOTAL kg
1	3140-CV-002-IDL03	POLIN DE IMPACTO 35°	6	212.0	1272.0
2	3140-CV-002-IDL04	EST. POLIN DE CARGA 35° (NOTA 2)	5	169.5	847.5
3	3140-CV-002-IDL05	EST. POLIN DE CARGA 35° (NOTA 2)	3	119.5	358.5
4	3140-CV-002-IDL07	EST. POLIN PLANO DE RETORNO (NOTA 2)	1	47.0	47.0
5	3140-CV-002-IDL08	EST. POLIN DE RETORNO EN V 10° (NOTA 6)	2	83.0	166.0
6		ESTRUCTURA	-	-	2179.3
7		PERNOS			---
				PESO TOTAL	4870.3

CERTIFICADO
thyssenkrupp
10–ABR–2020

FLUOR.
D – DATA ACCEPTED FOR INFORMATION ONLY
Authorization to proceed does not relieve Contractor/Supplier of its responsibility or liability under the Contract and or Purchase Order.
By Camilo Orellana at Apr 23, 2020

PLANEST
Planos Estructurales

thyssenkrupp

FLUOR.
PROYECTO QUELLAVECO

AngloAmerican

AA QUELLAVECO S.A.

REV.	FECHA	DESCRIPCION	PROYECTO REVISO	JEFE DE DISCIPLINA	GERENTE INGENIERIA	GERENTE AREA	CLIENTE
1	07/04/20	EMITIDO PARA CONSTRUCCION	SAV	RCE	PMG	MRT	CK
0	28/03/20	EMITIDO PARA CONSTRUCCION	SAV	RCE	PMG	MRT	CK
B	21/01/20	EMITIDO PARA REVISION DEL CLIENTE	FSZ	PEM	PMG	MRT	SPR
A	06/01/20	EMITIDO PARA REVISION INTERNA	FSZ	PEM	PMG	MRT	SPR

PLANO REFERENCIA

NOTAS
1.- DETALLE DE OREJAS DE IZAJE PLANO N° M9520D-030502-3140-13-GA-0200-MD013.
2.- CUANDO SE INDICA ESTACION DE POLIN, ESTA UNIDAD INCLUYE SU MARCO DE ESTRUCTURA CORRESPONDIENTE
3.- VER DOCUMENTOS COMPLEMENTARIOS EN PLANO N° M9520D-030502-3140-13-GA-0200-MD001
4.-ESTE PLANO TRABAJA CON LOS PLANOS DE MODULARIZACION N° M9520D-030502-3140-13-GA-0200-MD001 / MD002 / MD003 / MD004 / MD005 / MD006 / MD007 / MD008 / MD010 / MD011 / MD012 / MD013 / MD014.
5.- DIMENSIONES EN MILIMETROS (mm)

ESTE PLANO HA SIDO PREPARADO POR THYSSENKRUPP CHILE S.A. Y ES PROPIEDAD DEL CLIENTE ANGLO AMERICAN QUELLAVECO Y DEBERA UTILIZARSE UNICAMENTE PARA LOS FINES CONTEMPLADOS EN EL CONTRATO.

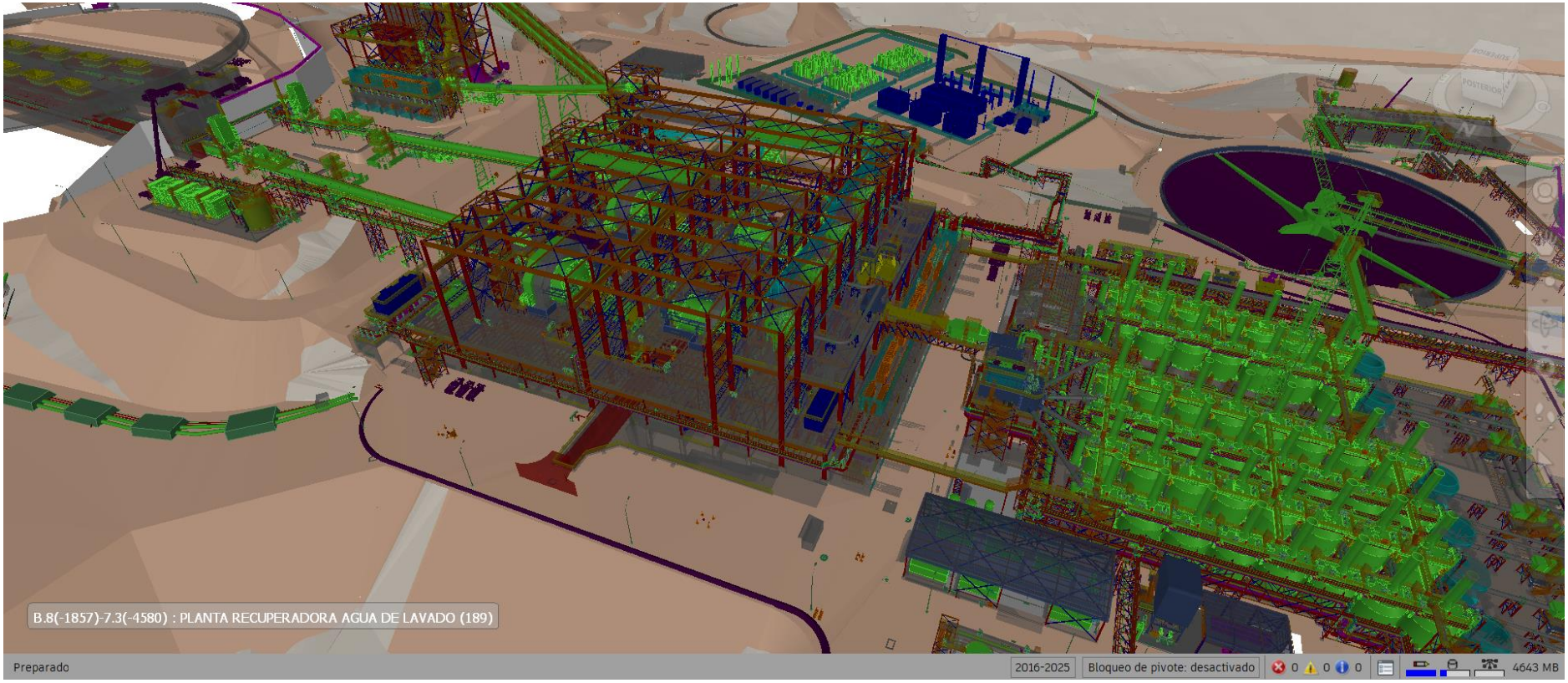
PROYECTO N° M5520D

	FECHA	NOMBRE
PROYECTO	10/01/19	P.SEGHERM.
REVISO	10/01/19	CPOBLETE F.
JEFE DISC.	10/01/19	PMIRANDA G.
GER. ING.	10/01/19	M.RIBO T.
GER. AREA	10/01/19	S.PACHECO R.
CLIENTE		

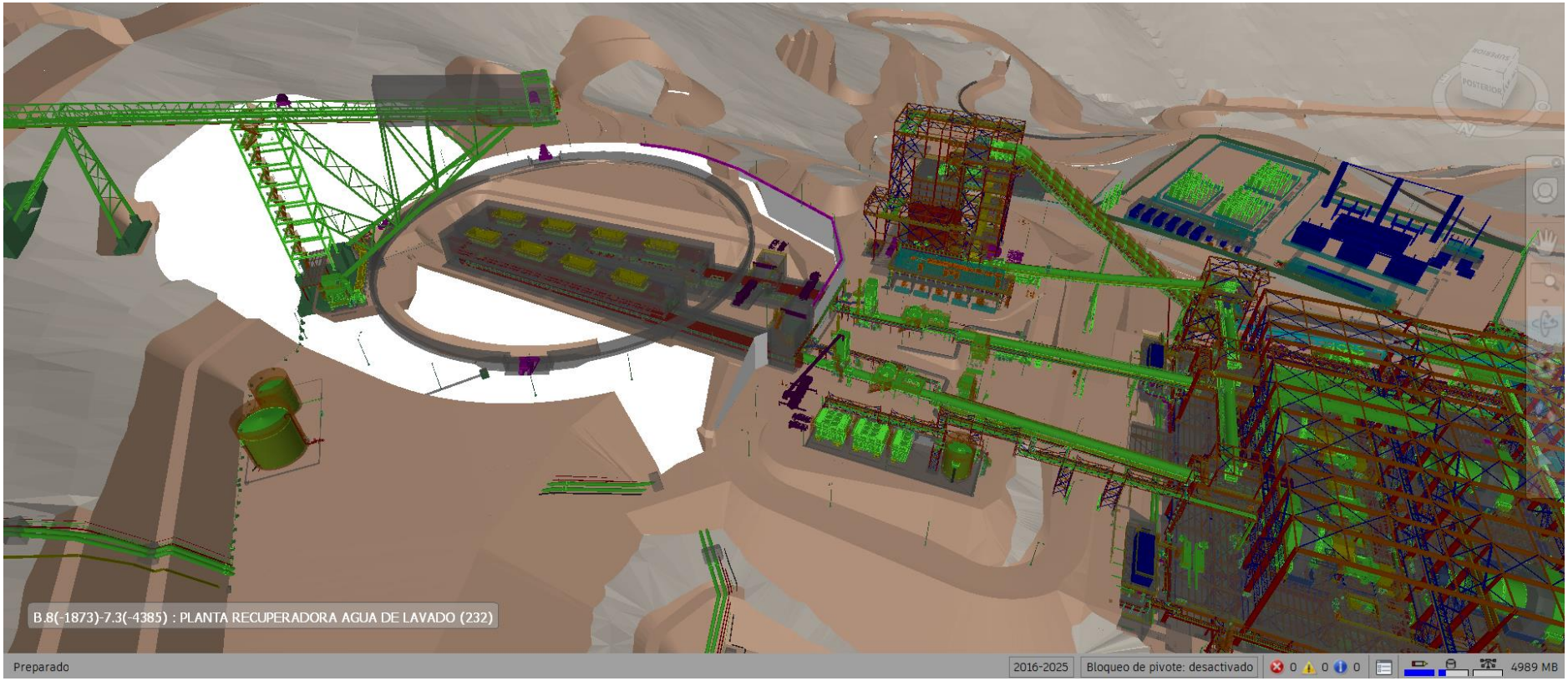
PROYECTO	QUELLAVECO
AREA PRINCIPAL	PLANTA PAPUJUNE
SUB AREA	MOLIENDA Y PEBBLES
SECTOR DEL AREA	CHANCADO DE PEBBLES
CONTENIDO	FAJA TRANSPORTADORA 72" (3140-CV-002) MODULO-29 MODULO-30 MODULO-31 MODULO-32
ESCALA	
NUMERO DE PLANO	M5520D-030502-3140-13-GA-0200-MD009
	1

FORMATO ISO A1 (841x594mm)

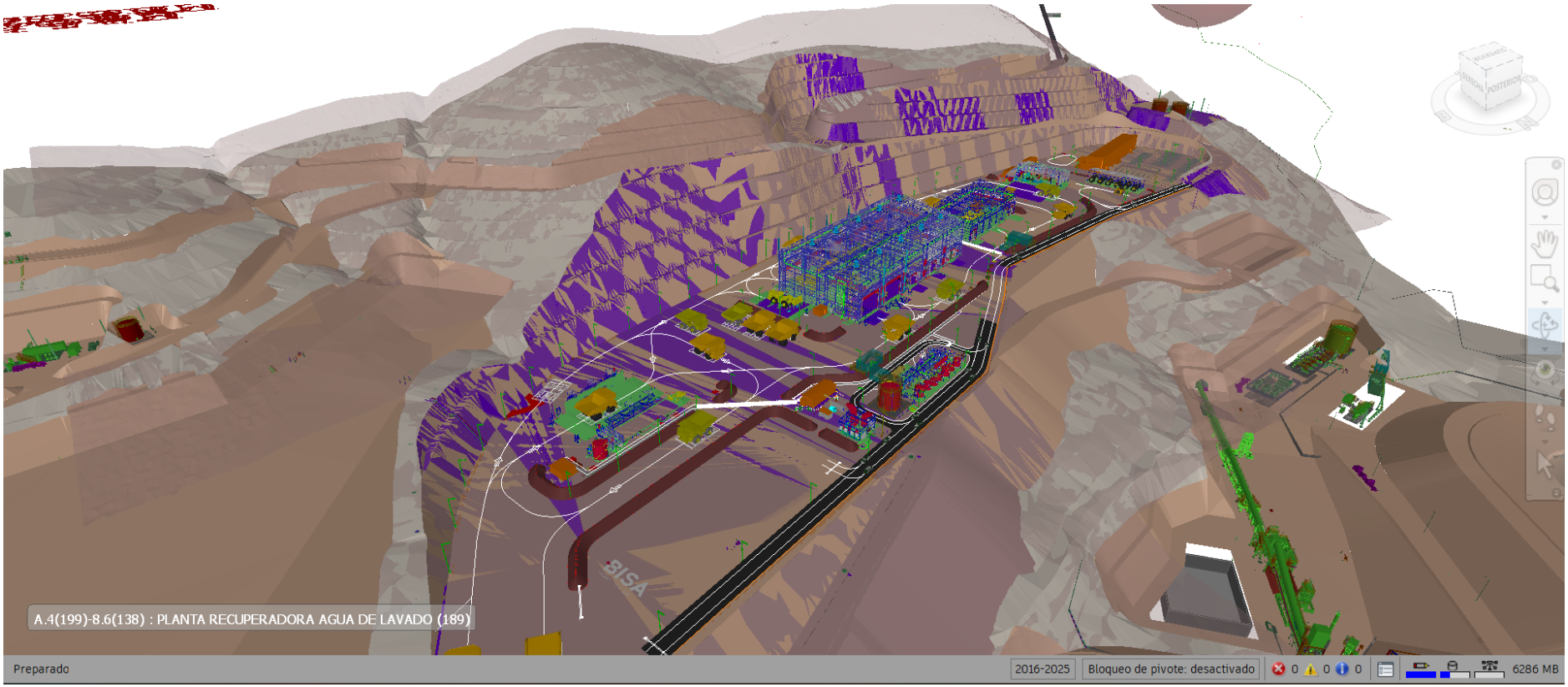
A3. Revisión de Navisworks V1



A4. Revisión de Navisworks V2



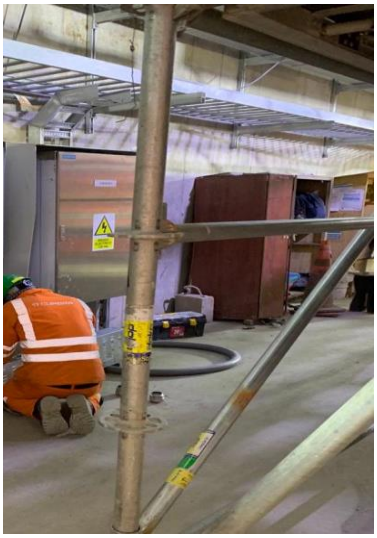
A5. Revisión de Navisworks V3



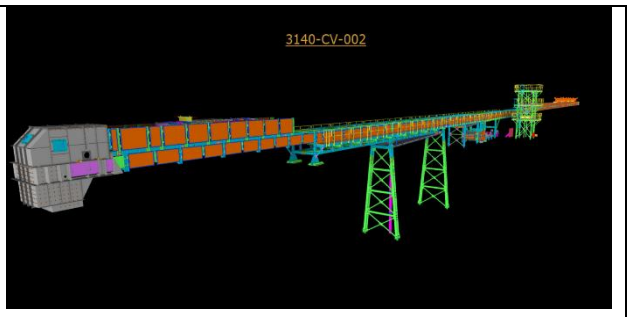
A6. Matriz de Registro Fotográfico

Descripción	Fotografía
A. COMPONENTES	
1. TABLERO ELECTRICO Panel de distribución de energía(3140-JP-006) es un equipo que distribuye la energía eléctrica de manera segura y controlada a todos los componentes eléctricos de la faja, como motores, sensores y sistemas de protección. Este panel se encarga de recibir la energía de la fuente principal y redistribuirla según los requerimientos de cada dispositivo, con protecciones contra sobrecargas, cortocircuitos y fallas eléctricas. Además, incluye disyuntores y otros elementos de seguridad que permiten aislar cada componente en caso de mantenimiento o emergencia. El Panel de distribución de energía es fundamental para asegurar que todos los dispositivos de la faja funcionen de forma continua y segura, manteniendo una operación eficiente en el proceso de alimentación del molino SAG.	
2. MOTOR ELECTRICO Motor eléctrico faja de alimentación de Molinos Sag 2 (3140-CV-002-MO1). Se encarga de proporcionar la potencia necesaria para mover la faja, asegurando un flujo constante y controlado del material hacia el molino. Este motor es diseñado para operar en condiciones de alta demanda y soportar cargas pesadas, manteniendo una velocidad estable y eficiente. Además, incluye sistemas de protección contra sobrecalentamiento y sobrecargas, garantizando un rendimiento seguro y confiable en entornos industriales exigentes.	

3. SENSOR DE VELOCIDAD Sensor de Velocidad 3140-SE-312A es un dispositivo que mide la velocidad a la que se mueve la cinta transportadora. Su función es monitorear y verificar que la faja mantenga una velocidad constante y adecuada para el flujo de material hacia el molino, evitando interrupciones o sobrecargas en el proceso de molienda. Este sensor proporciona datos en tiempo real al sistema de control, permitiendo ajustes automáticos si la velocidad cae por debajo o supera los parámetros establecidos. Esto es crucial para garantizar la eficiencia operativa y evitar problemas que puedan afectar la producción.	
4. TABLERO DE INSTRUMENTACION Tablero de estación remota de entrada y salida (3140-IO-014) es un sistema que permite conectar y gestionar de forma remota los dispositivos de campo, como sensores, actuadores y otros componentes instalados en la FT. Este rack recibe señales de los sensores de velocidad, posición, temperatura y otros parámetros críticos, y las envía al sistema de control central del molino a través de comunicación industrial, como Ethernet o protocolos de bus de campo. La estación remota reduce la cantidad de cableado, facilita la recolección de datos en tiempo real, y permite el monitoreo y control de los dispositivos de manera eficiente. Esto resulta esencial para asegurar una operación confiable y mantener la alimentación constante de mineral hacia el molino.	

5. TABLERO DE INSTRUMENTACION Tablero de comunicación (3140-DC-811) es un sistema que centraliza la comunicación entre los dispositivos de control, monitoreo y seguridad asociados a la operación de la FT. Este tablero conecta sensores de velocidad, motores, sistemas de protección y otros equipos al sistema de control central, permitiendo una supervisión en tiempo real del estado y desempeño de la faja. Además, facilita el envío y recepción de datos hacia el sistema de control del molino, asegurando que la alimentación de material se mantenga de manera continua y eficiente. La información gestionada por este tablero es clave para responder de forma rápida a cualquier anomalía y optimizar el rendimiento del proceso de molienda.	
6. INSTRUMENTOS DEL MOTOR Transmisor de vibración de motor (3140-VT-111) es un dispositivo que monitorea las vibraciones del motor que impulsa la FT. Su función principal es detectar niveles anormales de vibración que podrían indicar problemas mecánicos como desalineaciones, desequilibrios, desgaste de rodamientos o fallas inminentes en el motor. Este transmisor convierte las señales de vibración en datos que son enviados al sistema de control, permitiendo alertas tempranas para el mantenimiento preventivo. El monitoreo continuo con este instrumento es crucial para proteger el motor y garantizar una operación segura y eficiente de la faja, evitando tiempos de inactividad y prolongando la vida útil del equipo. Transmisor de temperatura (3140-TT-111) es un dispositivo que mide y transmite la temperatura del motor que impulsa la FT. Su objetivo es monitorear en tiempo real las variaciones de temperatura para detectar condiciones de sobrecalentamiento que podrían indicar sobrecarga, fallos en el sistema de enfriamiento, o	

problemas mecánicos en el motor. Este transmisor envía las lecturas de temperatura al sistema de control, permitiendo activar alarmas y realizar ajustes preventivos antes de que se produzcan fallas graves. La instalación de este instrumento es esencial para proteger el motor, evitar interrupciones en la alimentación del molino y mantener un funcionamiento seguro y eficiente en el sistema de transporte.	

B. VISTAS	
7. VISTA FRONTAL DE LA FAJA TRANPORTADORA	
8. VISTA AEREA	
9. MONTAJE DE SECCIONES DE LA FAJA	

10. MODELO DE LA FT