

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA




TESIS

Evaluación de empalme vulcanizado en caliente de fajas transportadoras de minerales con núcleo textil para reducir los riesgos de falla continua en operación

Para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico


Elaborado por:

Juan Carlos Espinoza Conislla

 0009-0007-8089-599X

Asesor:

Mg. Roberto Pineda Leon

 0000-0002-4314-0893

LIMA – PERÚ

2024

Citar/How to cite	Espinoza Conislla [1]
Referencia/Reference	[1] J. Espinoza Conislla, “ <i>Evaluación de empalme vulcanizado en caliente de fajas transportadoras de minerales con núcleo textil para reducir los riesgos de falla continua en operación</i> ” [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Espinoza, 2024)
Referencia/Reference	Espinoza, J. (2024). <i>Evaluación de empalme vulcanizado en caliente de fajas transportadoras de minerales con núcleo textil para reducir los riesgos de falla continua en operación</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

*A quienes me inspiraron, me apoyaron y me guiaron en este viaje del conocimiento:
Gracias por ser faros en la neblina y por celebrar conmigo cada pequeña victoria. Este
trabajo es también vuestro, pues cada conversación, cada consejo y cada palabra de
aliento ha dejado su huella en estas páginas. A mi familia, amigos, y mentores mi gratitud
eterna.*

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a mi familia, amigos, profesores y compañeros de estudio por su incondicional apoyo y contribución en este camino. Su aliento y colaboración fueron fundamentales para alcanzar este logro.

Resumen

Las bandas transportadoras son indispensables en la minería, permitiendo el traslado eficiente de materiales pesados y contribuyendo a una producción fluida. Esta investigación se enfoca en mejorar la evaluación del empalme vulcanizado en caliente de estas bandas en una empresa minera, buscando reducir riesgos de fallas continuas en operación. El propósito del estudio es diseñar un protocolo específico para el empalme vulcanizado en caliente, con el fin de minimizar los riesgos de fallo continuo en una empresa minera en Ancash. A través de una metodología aplicada, se desarrolla un proceso que incluye la definición de materiales, análisis de fichas técnicas, normativas, manuales y el desarrollo del ensayo de tracción según la norma ISO 283. Como resultado, se diseñó un procedimiento de empalme vulcanizado en caliente de fajas transportadoras de minerales con núcleo textil con el fin de disminuir el riesgo de falla en operación en una empresa minera. Además, se estableció un protocolo de trabajo para mitigar los defectos asociados al vulcanizado en caliente de dichas fajas, contribuyendo así a mejorar la calidad y seguridad en la empresa. El proceso de vulcanizado en caliente se llevó a cabo con el objetivo de reducir las brechas existentes en los estándares de seguridad y calidad, asegurando una operación más eficiente y segura en el transporte de minerales. Se concluye que el proceso de empalme vulcanizado en caliente y el protocolo para reducir defectos garantizan la integridad y seguridad de las fajas transportadoras en minería. La tensión admisible disminuye en un 26.26%, demostrando que la correa empalmada mantiene una resistencia adecuada para las condiciones operativas, siendo el empalme vulcanizado en caliente más costoso, pero más efectivo que el empalme en frío.

Palabra clave: Bandas transportadoras, empalme vulcanizado, minería, seguridad

Abstract

Conveyor belts are essential in mining, as they allow the efficient transfer of heavy materials and contribute to the production of fluids. This research focuses on improving the evaluation of hot vulcanized splicing of these bands in a mining company, seeking to reduce the risks of continuous failures in the operation. The objective of the study is to design a specific protocol for the splicing of hot vulcanization, in order to minimize the risks of continuous failure in a mining company in Ancash. Through an applied methodology, a process is developed that includes the definition of materials, analysis of technical sheets, regulations, manuals and the development of traction tests according to the ISO 283 standard. As a result, a vulcanized splicing procedure was designed in Heating of mineral conveyor belts with a textile core in order to reduce the risk of operational failures in a mining company. In addition, a work protocol was developed to mitigate the defects associated with the hot vulcanization of said belts, thus contributing to improving quality and safety in the company. The hot vulcanization process was carried out with the objective of reducing existing gaps in safety and quality standards, ensuring a more efficient and safe operation in the transportation of minerals. It is concluded that the hot vulcanized splicing process and the protocol to reduce defects guarantee the integrity and safety of conveyor belts in mining. The allowable tension decreases by 26.26%, demonstrating that the spliced belt maintains adequate resistance for the operating conditions, with the hot vulcanized splice being more expensive but more effective than the cold splice.

Keyword: Conveyor belts, vulcanized splicing, mining, safety

Tabla de Contenido

Resumen.....	v
Abstract	vi
Tabla de Contenido.....	vii
Lista de tablas	ix
Lista de figuras.....	xi
Introducción.....	xiv
Capítulo I. Generalidades.....	1
1.1. Antecedentes investigativos	1
1.2. Identificación y descripción del problema de estudio	7
1.3. Formulación del problema	9
1.3.1. Problema principal	9
1.3.2. Problemas secundarios	9
1.4. Justificación e importancia.....	10
1.5. Objetivo	11
1.5.1. Objetivo general	11
1.5.2. Objetivos específicos.....	11
1.6. Hipótesis.....	11
1.6.1. Hipótesis general.....	11
1.6.2. Hipótesis específicas.....	11
1.7. Variables y operacionalización de variables.....	12
1.7.1. Operacionalización de variables	13
1.8. Metodología de la investigación	14
1.8.1. Unidades de análisis.....	14
1.8.2. Tipo, enfoque y nivel de investigación	14
1.8.3. Diseño de la investigación	15
1.8.4. Fuentes de información	15
1.8.5. Población y muestra	16

1.8.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	16
1.8.7.	Análisis y procesamiento de datos.....	17
Capítulo II. Marco teórico y conceptual.....		19
2.1.	Marco teórico.....	19
2.1.1.	Faja transportadora	19
2.1.2.	Riesgos de falla continua.....	24
2.2.	Marco conceptual	27
2.2.1.	Banda	27
2.2.2.	Cabezal	27
2.2.3.	Rodillos.....	27
2.2.4.	Bastidores	28
2.2.5.	Empalme	28
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación.....		29
3.1.	Situación actual	29
3.2.	Fallas continuas en operación de la faja a analizar.....	30
3.2.1.	Fallas en la faja transportadora 240-CVB-033	30
3.3.	Validación del dimensionamiento de la faja transportadora	34
3.3.1.	Datos de entrada	34
3.3.2.	Cálculo de la faja transportadora	36
3.4.	Descripción del procedimiento del empalme vulcanizado en caliente	55
3.4.1.	Empalme vulcanizado en caliente de fajas transportadoras con núcleo textil (EP).....	55
3.5.	Ensayo de tracción en muestra de faja transportadora	83
Capítulo IV. Resultados, contratación de hipótesis y discusión de resultados.....		85
Conclusiones.....		93
Recomendaciones.....		94
Referencias		95
Anexos		99

Lista de Tablas

Tabla 1: <i>Matriz de operacionalización de las variables</i>	13
Tabla 2: <i>Ventajas y desventajas de empalme mecánico y vulcanizado</i>	23
Tabla 3: <i>Datos de entrada para la validación de la faja transportadora</i>	35
Tabla 4: <i>Capacidad volumétrica teórica en ft³/h.</i>	38
Tabla 5: <i>Peso de la faja transportadora por metro lineal en lbf/ft</i>	39
Tabla 6: <i>Peso de los rodillos de carga en lbf, para una faja transportadora de 60 pulgadas de ancho</i>	41
Tabla 7: <i>Peso de los rodillos de retorno en lbf, para una faja transportadora de 60 pulgadas de ancho</i>	42
Tabla 8: <i>Distancia de separación de las estaciones de carga y de retorno en ft</i>	43
Tabla 9: <i>Valores estándares para el coeficiente de fricción en fajas transportadoras</i>	44
Tabla 10: <i>Valores estándares del coeficiente C para instalaciones de fajas transportadoras</i>	45
Tabla 11: <i>Coeficientes de fricción μ recomendados entre correas con cubierta de caucho y poleas con diferente acabado aplicables al diseño y disposición de instalación de fajas transportadoras</i>	51
Tabla 12: <i>Tensiones de operación y arranque en la polea motriz</i>	55
Tabla 13: <i>Ficha técnica de la faja transportadora EP1600/4.</i>	56
Tabla 14: <i>Uniones múltiples en caliente para fajas transportadoras textiles</i>	57
Tabla 15: <i>Lista de herramientas para el proceso de vulcanizado en caliente de fajas textiles</i>	58
Tabla 16: <i>Lista de equipos y otros elementos necesarios para el proceso de vulcanizado en caliente de fajas textiles</i>	58
Tabla 17: <i>Lista de kit de empalme para el proceso de vulcanizado en caliente de fajas textiles</i>	59
Tabla 18: <i>Longitud de cierre de empalme</i>	65
Tabla 19: <i>Datos de entrada para la validación de la faja transportadora</i>	83
Tabla 20: <i>Ensayo de tracción</i>	84
Tabla 21: <i>Cuadro comparativo entre resultados obtenidos y resultados de diseño</i>	85
Tabla 22: <i>Comparación entre el PIW de la faja luego de vulcanizar y el PIW de la faja nueva</i>	88
Tabla 23: <i>Comparación entre la carga de rotura de la faja luego de vulcanizar y la carga de rotura de la faja nueva.</i>	89

Tabla 24: <i>Costos comparativos entre los servicios de los empalmes vulcanizado en frío y vulcanizado en caliente para la faja sometida a estudio.....</i>	90
Tabla 25: <i>Empalmes vulcanizado en caliente de diferentes fajas transportadoras de minerales.....</i>	91

Lista de figuras

Figura 1: Componentes de una faja transportadora	20
Figura 2: Desprendimiento de la capa superior de la faja transportadora textil	30
Figura 3: Corte pasante de 230 mm de largo en la faja transportadora textil	31
Figura 4: Reparación en frío con un parche en la zona del corte pasante en la faja transportadora textil	31
Figura 5: Cubierta superior de la faja transportadora textil con un mal acabado luego del empalme vulcanizado en frío	32
Figura 6: Cubierta inferior de la faja transportadora textil desgastada en la zona del empalme vulcanizado en frío	32
Figura 7: Cubierta superior de la faja transportadora textil desgastada.....	33
Figura 8: Esquema de Faja Transportadora 240-CVB-033	34
Figura 9: Configuración recomendada por el Manual CEMA.....	37
Figura 10: a: Acción de fuerza periférica y tensiones en la polea motriz, b: Distribución de tensiones radialmente en polea motriz y ángulo de abrazamiento de la correa.....	50
Figura 11: Diagrama de cuerpo libre de resistencias al movimiento y tensiones actuantes en la faja transportadora.....	53
Figura 12: Equipos vulcanizantes y prensa vulcanizadora para empalme vulcanizado en caliente de fajas textiles.....	59
Figura 13: Kit de empalme vulcanizado en caliente para fajas textiles.....	60
Figura 14: Acondicionamiento del área para el proceso de vulcanizado en caliente de fajas transportadoras textiles.....	60
Figura 15: Ubicación del primer punto para trazar la Línea Maestra	61
Figura 16: Ubicación del segundo punto para trazar la Línea Maestra.....	61
Figura 17: Trazado de la Línea Maestra	62
Figura 18: Trazado de línea DE perpendicular a la Línea Maestra.....	63
Figura 19: Trazado de línea DF con ángulo de 22°.....	64
Figura 20: Trazado de los escalones o steps para el proceso de vulcanizado en caliente	64
Figura 21: Medición de la línea de cierre del empalme vulcanizado de acuerdo con la aplicación de la faja	65
Figura 22: Trazado de la línea de cierre de empalme en caliente en la capa superior de la faja transportadora.....	66
Figura 23: Trazado de la línea de cierre de empalme en caliente en la capa inferior de la faja transportadora.....	66
Figura 24: Corte de la zona de cierre de empalme vulcanizado en caliente.....	67

Figura 25: Corte de la primera capa de caucho con línea de inclinación del empalme vulcanizado en caliente.....	68
Figura 26: Retiro de la tira superior de caucho de la zona de cierre del empalme vulcanizado en caliente.....	68
Figura 27: Corte de la primera capa de caucho con la primera capa textil de la faja transportadora en la zona escalón.....	69
Figura 28: Retiro de la primera capa de caucho con la primera capa textil de la faja transportadora en la zona escalón.....	69
Figura 29: Corte de la segunda capa de caucho con la segunda capa textil de la faja transportadora en la zona escalón.....	70
Figura 30: Retiro de la segunda capa de caucho con la segunda capa textil de la faja transportadora en la zona escalón.....	70
Figura 31: Retiro de la tira inferior de caucho de la zona de cierre del empalme vulcanizado en caliente	71
Figura 32: Cortes de ambos extremos de la faja transportadora textil.....	71
Figura 33: Limpia de la superficie de la faja transportadora que será la zona de empalme vulcanizado en caliente.....	72
Figura 34: Aplicación de la primera capa de cemento vulcanizante sobre zona de empalme	73
Figura 35: Aplicación de la segunda capa de cemento vulcanizante en la zona de empalme	73
Figura 36: Aplanado de la goma cojín con ayuda del rodillo	74
Figura 37: Alineamiento de ambos extremos de la faja transportadora textil en la zona del empalme.....	74
Figura 38: Aplicación de cemento vulcanizante en la zona de cierre del empalme vulcanizado.....	75
Figura 39: Pegado de tiras de caucho en la zona de cierre del empalme vulcanizado....	75
Figura 40: Colocación de tela vulcatrux en la parte inferior de la zona de empalme vulcanizado en caliente.....	76
Figura 41: Colocación de tela vulcatrux en la parte superior de la zona de empalme vulcanizado en caliente.....	76
Figura 42: Armado de la prensa superior y colocación de equipos para el vulcanizado en caliente	77
Figura 43: Colocación de pernos para el ajuste de los rieles superiores con los inferiores	78
Figura 44: Colocación de platinas moldeadoras a los costados de la faja transportadoras y sujetadas mediante un tecele tipo ratchet.....	78

Figura 45: Conexión de los platos vulcanizadores a la caja de control eléctrica.....	79
Figura 46: Culminado de armado de la prensa y equipos vulcanizadores.....	80
Figura 47: Proceso de calentamiento de los platos vulcanizadores a una temperatura de 145°C (\pm 5°C)	81
Figura 48: Regulación del manómetro de la bomba a 8 bar durante el proceso de vulcanizado en caliente de la faja transportadora textil.....	81
Figura 49: Enfriamiento de los platos vulcanizadores hasta la temperatura de 45°C (\pm 5°C)	82
Figura 50: Probetas luego del ensayo a la tracción.....	84
Figura 51: Resultado de longitud inicial y final de las probetas sometidas a ensayo de tracción.....	86
Figura 52: Resultado de elongación de las probetas sometidas a ensayo de tracción....	86
Figura 53: Resultado de fuerza máxima de las probetas sometidas a ensayo de tracción	87
Figura 54: Variación de la tensión admisible.....	88

Introducción

Este trabajo de investigación se desarrolló en seis (6) capítulos.

En el capítulo I se expone problema de investigación, se realiza una breve una descripción de la realidad problemática, se formula el problema y se plantean los objetivos a lograr en este trabajo. Además, se proporciona una revisión de antecedentes tanto a nivel nacional como internacional.

El Capítulo II se enfoca en precisiones teóricas y conceptuales relacionadas con las fajas transportadoras y el empalme vulcanizado en caliente de estas. También se exponen los diversos riesgos de falla continua que pueden surgir durante su operación. Se describen los conceptos principales que se utilizaron en la investigación.

El Capítulo III describe la formulación de la hipótesis general y las hipótesis específicas, así como el desarrollo de la operacionalización de las variables.

En el Capítulo IV, se presenta la metodología de la investigación, definiendo este estudio como aplicada, con un enfoque cuantitativo, nivel descriptivo y un diseño no experimental de corte transversal. Se define la unidad de análisis y se elaboró la matriz de consistencia.

El Capítulo V detalla el desarrollo de la tesis, presentando los cálculos que respaldarán la justificación de este trabajo.

En el Capítulo VI, se lleva a cabo el análisis y la discusión de los resultados obtenidos.

Capítulo I. Generalidades

1.1. Antecedentes investigativos

Antecedentes internacionales

En su investigación, Omonboevich y Ne'matovich (2021) se proponen analizar los métodos de unión de cintas transportadoras mediante compuestos especiales de vulcanización. Para alcanzar este objetivo, llevaron a cabo un análisis detallado de la eficacia de distintos métodos, centrándose particularmente en la vulcanización en caliente. Los resultados obtenidos respaldan la afirmación de que la vulcanización en caliente es el método más eficaz y fiable para unir cintas transportadoras. Esto se debe a la alta calidad de la unión entre bandas, un factor crítico para la resistencia de la banda transportadora. Además, destacan que este procedimiento minimiza el tiempo de inactividad de la producción, ya que la cinta puede reanudar la operación inmediatamente después de completar el trabajo. En conclusión, los autores argumentan que los materiales utilizados en la vulcanización en caliente son más económicos que los empleados en la vulcanización en frío. Este enfoque resulta además aplicable para la unión de correas de cuerda, en contraste con la vulcanización en frío. Este enfoque, de implementarse, podría generar ahorros significativos, tanto en porcentaje favorable como en términos monetarios, al utilizar materiales más económicos y al reducir los costos asociados con el tiempo de inactividad de la producción.

En la investigación llevada a cabo por Datrota y Petrescu (2019), el objetivo principal fue optimizar las instalaciones constructivas donde se lleva a cabo el procedimiento de empalme vulcanizado con el fin de reducir el efecto conocido como "campana". Este propósito se abordó mediante la aplicación del método de los elementos finitos. Los resultados obtenidos revelaron que las bandas unidas eran del tipo ST2000 y que, mediante una optimización constructiva de la prensa de vulcanización, se logró reducir significativamente el efecto "campana". Este hallazgo indica un avance positivo hacia la

mejora de la calidad de las cintas transportadoras. En última instancia, Datrota y Petrescu concluyeron que, a pesar de la importancia de contar con cintas transportadoras de características mecánicas superiores, la combinación por vulcanización permite obtener prestaciones superiores. No obstante, se comprobó que esta combinación por vulcanización puede generar un defecto de tipo "campana". Este enfoque optimizado podría representar ahorros significativos, ya que la reducción del efecto "campana" implica una mayor eficiencia en las operaciones y, por ende, un potencial ahorro de costos asociados con reparaciones y reemplazos frecuentes.

En la investigación llevada a cabo por Maldini et al. (2022), el objetivo principal fue comprender las distintas etapas del proceso de empalme de la faja transportadora, realizado por el equipo de Mifa Bersaudara Maintenance, y determinar los materiales y herramientas utilizados en dicho procedimiento. Este propósito se abordó mediante la recopilación detallada de información. En los resultados obtenidos, se logró una descripción exhaustiva de cada etapa realizada para el empalme de la faja transportadora, proporcionando una lista completa de dichas etapas. Finalmente, los autores concluyen identificando las etapas fundamentales del proceso de empalme, que incluyen la colocación, la medición, el corte, el despojo, el rectificado, el pegado y el empalme de la cinta transportadora. Además, se destacan las herramientas necesarias para llevar a cabo exitosamente el empalme de la faja transportadora. En cuanto a los porcentajes o ahorros económicos, la minuciosa comprensión de las etapas y herramientas puede generar mejoras en la eficiencia operativa y posibles ahorros al optimizar los procesos y reducir los tiempos de empalme.

En la investigación llevada a cabo por Kireli y Demirsöz (2022), el objetivo principal fue determinar los efectos de diferentes métodos de empalme de cintas transportadoras. Para alcanzar este propósito, se recopilaron datos de tres muestras con diferentes tipos de empalmes: de la correa sin empalmar, de la correa empalmada mecánicamente y de la correa vulcanizada. La metodología utilizada incluyó la realización de pruebas de tracción

en estas muestras. Los resultados obtenidos de las pruebas de tracción revelaron que las correas sin empalmar mostraron los valores más altos de resistencia, seguidas por las correas vulcanizadas y las correas empalmadas mecánicamente, en orden descendente. Los autores sostienen que hay una disminución del 28,2 % en la resistencia a la tracción en las correas vulcanizadas en comparación con las correas sin empalmar, y una disminución del 49,8 % en la resistencia a la tracción en las correas empalmadas mecánicamente en comparación con las correas sin empalmar. En conclusión, Kireli y Demirsöz destacan que los empalmes realizados mediante el método de vulcanización son más duraderos en comparación con los empalmes mecánicos, aunque presentan una ligera disminución en su resistencia. Además, se resalta la mejora en la durabilidad como un elemento positivo que contribuye a la eficiencia operativa y a la disminución de los costos relacionados con reemplazos y mantenimiento frecuentes.

En la investigación llevada a cabo por Días (2019), el objetivo principal fue definir los parámetros necesarios para el diseño de un transportador de banda destinado al paso del arroz hacia silos de almacenaje, con el propósito final de ser secado y descascarado en el molino "UEB Combate del Cerro". Para lograr este objetivo, se desarrolló una metodología basada en los principios fundamentales del diseño de elementos de máquinas, centrándose particularmente en los de transporte continuo. Los resultados obtenidos incluyeron un ancho de banda de 400 mm, una velocidad calculada de 1,03 m/s, un tiraje efectivo de 4811,45 kg, una potencia necesaria de 53,99 kW y un total de 3 capas. En conclusión, el autor asegura que, con la implementación de esta propuesta, la empresa podrá obtener beneficios tanto en el ámbito económico como tecnológico. Esto se debe a que se eliminarán las paradas durante la producción debido a la falta de materia prima en los silos, generando un impacto positivo en la eficiencia operativa y potencialmente resultando en ahorros económicos al evitar interrupciones en la producción.

Antecedentes nacionales

En su investigación, Granda (2020) tenía como objetivo principal exponer el cambio total de la faja transportadora después de 30 empalmes en piso vulcanizados en caliente, específicamente para la faja con alma de cable de acero en la empresa Las Bambas S.A. El propósito subyacente era incrementar la productividad y prevenir paradas no programadas en la faja CVB-004. Para alcanzar este objetivo, se analizaron dos métodos de unión de bandas transportadoras: el vulcanizado y los empalmes mecánicos. Los resultados del análisis indicaron que la altura, peso y tamaño de partículas a transportar en las bandas eran puntos cruciales para llevar a cabo un cambio efectivo de fajas transportadoras. Granda concluyó que las fajas transportadoras ocupan una posición dominante durante el transporte de materiales a granel, gracias a sus ventajas inherentes como economía, seguridad de operación, versatilidad, confiabilidad y un rango prácticamente ilimitado de capacidades. La propuesta de sustituir las fajas transportadoras después de un número específico de empalmes en caliente tenía como objetivo optimizar la eficiencia operativa y prevenir paradas no planificadas. Esta medida podría traducirse en ahorros significativos al evitar interrupciones en la producción y prolongar la vida útil del sistema.

En su investigación, Torres (2018) tiene como objetivo principal elaborar el procedimiento y protocolo de trabajo de empalme vulcanizado en caliente para cambiar 310 metros de una faja transportadora con alma de acero en el centro minero Shougang Hierro Perú S.A.A. Para lograr este objetivo, el autor empleó bases técnicas y experimentales en el desarrollo del protocolo de empalme de correa con alma de acero. Además, aplicó el procedimiento de prevención y control de riesgos previos al trabajo para asegurar la seguridad durante las tareas de empalme, evitando retrasos en la obra y cualquier incidente que pudiera afectar el cronograma de tareas. Como resultado, Torres concluye que se logró llevar a cabo exitosamente el empalmado vulcanizado en caliente de la faja transportadora mediante la aplicación de los procedimientos elaborados. Por otro

lado, es notable el éxito en la realización precisa del empalme, lo que indica un nivel de eficiencia operativa y seguridad en todo el proceso.

En el estudio realizado por Purizaca (2021), se sugirió la aplicación de un programa destinado al mantenimiento preventivo con el objetivo de aumentar la eficiencia operativa de las cintas transportadoras utilizadas en el manejo de roca fosfórica en una compañía minera ubicada en la provincia de Sechura, en el Departamento de Piura. Con el propósito de su aplicación, se adoptó un enfoque cuantitativo con un diseño preexperimental y un alcance longitudinal para proporcionar una explicación detallada. La población de interés abarcó el mineral transportado a la planta concentradora a través del sistema de fajas durante los meses de agosto a diciembre de 2020 (pretest) y de febrero a junio de 2021 (post test). Los medios de recolección de datos consistieron en los documentos que contenían datos sobre el tiempo promedio entre fallos (MTBF), el tiempo medio de reparación (MTTR) y la disponibilidad del sistema de transporte. Además, se utilizaron métricas de eficiencia, eficacia y productividad extraídas del sistema ERP, SAP LOGON PAD 750, el cual cuenta con la certificación ISO 27000, garantizando así la implementación, mantenimiento y gestión adecuados del Sistema de Gestión de Seguridad de la Información. La eficiencia experimentó un aumento del 2,99 %, pasando de un 92% a un 94,75 %, mientras que la eficacia mejoró en un 5,62 %. Se llegó a la conclusión de que, como consecuencia de las mejoras implementadas, la productividad aumentó significativamente, pasando del 81,82 % en la fase de evaluación inicial al 89,08 % en la fase de evaluación posterior. Este incremento representó una mejora total del 8,88 %.

Encarnación y Salas (2019) llevaron a cabo un plan de seguridad con el objetivo de reducir los riesgos laborales en el mantenimiento de fajas transportadoras en una empresa de servicios en Lima durante el año 2019. La metodología aplicada adoptó un enfoque cuantitativo y una tipología aplicada, utilizando un diseño cuasi experimental. La población bajo estudio comprendió 24 trabajadores, considerando los registros de los últimos 4 meses del mencionado año. Para la recopilación de datos, se emplearon técnicas de

observación y análisis de documentos. Los instrumentos utilizados incluyeron hojas de registro, la opinión de expertos y el cálculo del alfa de Cronbach para evaluar la confiabilidad mediante el software estadístico SPSS.22. Los resultados indicaron una reducción del 10,30 % en los riesgos laborales, con un nivel de confianza del 95 % y un margen de error del 5%. En conclusión, la prueba de significancia ($\text{Sig. } 0,018 < 0,05$) respaldó la hipótesis de que la implementación del plan de seguridad logró disminuir los riesgos laborales en el mantenimiento de fajas transportadoras en la empresa de servicios. Este enfoque demostró ser efectivo para mejorar la seguridad laboral, contribuyendo a la reducción de riesgos y, por ende, mejorando las condiciones de trabajo. Además de salvaguardar la integridad de los trabajadores, se logró un ahorro potencial al evitar posibles accidentes y sus consecuentes costos asociados a la atención médica y compensaciones, lo que contribuyó positivamente a la eficiencia operativa y al bienestar general del personal.

Flores (2021) llevó a cabo un estudio con el objetivo de determinar los peligros y evaluar los riesgos laborales durante la fase de empalme de fajas transportadoras, con el propósito de desarrollar medidas de control y reducir los accidentes asociados a esta tarea. El enfoque del estudio fue aplicado, de nivel descriptivo, con un enfoque cuantitativo y un diseño no experimental de corte transversal. La muestra consistió en 31 trabajadores que participaban en el proceso de empalme. En el desarrollo de la investigación, se utilizó la matriz de IPERC para identificar peligros potenciales en diversas fases, destacando el cuchillo olfa L5 como un generador de alto riesgo de lesiones. La evaluación de riesgos permitió definir controles de seguridad destinados a mejorar las condiciones de trabajo y, en consecuencia, reducir los accidentes laborales. En conclusión, Flores señaló que la experiencia de cada trabajador al realizar esta tarea es determinante para establecer el número de accidentes. Además, pudo inferir que las manos son el área del cuerpo más afectada por este tipo de actividad, proponiendo como medida de control el uso de guantes anticorte, preferiblemente de malla, y sugiriendo el uso de un traje completo de anticorte.

Los resultados demostraron una disminución del riesgo de accidentes laborales, especialmente en lo que respecta a lesiones en las manos, contribuyendo así a una mejora en la seguridad y bienestar de los trabajadores.

1.2. Identificación y descripción del problema de estudio

Las fajas o bandas transportadoras se destacan como elementos indispensables en el ámbito minero, posibilitando el traslado eficiente de grandes volúmenes de materiales. Facilitan el flujo constante de metales pesados, contribuyendo así a una producción ininterrumpida y fluida. En consecuencia, al emplear estas bandas transportadoras, se logra disminuir de manera significativa la necesidad de utilizar camiones para el transporte de desmonte y mineral, lo que conlleva una reducción sustancial del impacto ambiental y del consumo de combustibles fósiles. Esto las convierte en componentes sumamente valiosos en la actividad minera.

La inversión inicial en una faja transportadora puede ser superior a la adquisición de camiones; sin embargo, a largo plazo, estos costos se equilibran gracias al menor consumo de energía y a la disminución de los gastos asociados al mantenimiento de los equipos de línea amarilla.

Hasta finales de 2023, se han desarrollado bandas transportadoras capaces de operar ininterrumpidamente durante 7000 horas. Esto las posiciona como la elección óptima para potenciar la productividad. De acuerdo al portal de Minería sostenible del Comercio, señala ya que la banda transportadora tiene la capacidad de reemplazar hasta 10 camiones mineros, este rendimiento se evidencia al considerar su capacidad para trasladar 5000 toneladas de mineral por hora (ContenLab, 2020).

Para garantizar el correcto funcionamiento de la banda, es crucial que el empalme se realice de manera precisa. Esto favorece un transporte continuo del material, evitando así cualquier contratiempo en las operaciones mineras. No obstante, es importante destacar que el empalme también representa el eslabón más vulnerable en el sistema

transportador, y esto se debe a dos factores clave: la habilidad del operario al realizar el empalme y la calidad de los materiales utilizados en dicho proceso.

En esta investigación titulada "Evaluación de empalme vulcanizado en caliente de fajas transportadoras de minerales con núcleo textil para reducir los riesgos de falla continua en operación", se plantea el desarrollo de un enfoque de evaluación específica para el empalme vulcanizado en caliente. El objetivo principal es evaluar el empalme vulcanizado en caliente de fajas transportadoras de minerales con núcleo textil para reducir los riesgos de falla continua en operación en una empresa minera ubicada en el departamento de Ancash.

En el ámbito minero, resulta trascendente que las máquinas estén instaladas de manera adecuada y cuenten con los ajustes precisos, siendo uno de estos ajustes cruciales el empalme de las bandas transportadoras.

La problemática que enfrenta la empresa minera se evidencia en la necesidad de solucionar las fallas que presenta la faja transportadora durante su operación y evitar riesgos de falla que podrían ocurrir si la faja sigue operando bajo los problemas que presenta actualmente. La continuidad de operación de la faja transportadora bajo condiciones desfavorables, tal como desgaste y desprendimiento en la cubierta superior, junto con un corte pasante de 230 mm que ha sido reparado en frío, pero muestra daños persistentes, puede significar un desgaste prematuro de los componentes que forman parte el sistema de transmisión del conveyor, el cuál involucraría un gasto adicional en la adquisición de nuevos componentes debido a este desgaste prematuro. Por otro lado, un escenario más caótico se puede presentar con la rotura de la faja transportadora debido al excesivo esfuerzo que sufre durante la operación, traduciéndose en una parada de planta no planificada hasta poder realizar la actividad correctiva de unión con una faja nueva. Este último caso significaría grandes pérdidas económicas para la empresa minera.

La ejecución recurrente de empalmes en frío, aunque es la práctica actual, revela limitaciones sustanciales en términos de durabilidad y eficacia. La consecuencia directa de este enfoque es la necesidad constante de intervenciones y, como resultado, la ocurrencia frecuente de periodos de inactividad. Esta situación no solo afecta la productividad, sino que también se traduce en pérdidas económicas significativas para la empresa. Los costos asociados con el tiempo de parada, así como los gastos de mantenimiento y reparación de la faja transportadora, representan un impacto financiero notable.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. *Problema principal*

¿De qué manera la evaluación de empalme vulcanizado en caliente de fajas transportadoras de minerales con núcleo textil permitirá reducir los riesgos de falla continua en operación?

1.3.2. *Problemas secundarios*

- ¿En qué forma debe ser el procedimiento del empalme vulcanizado en caliente de fajas transportadoras de minerales con núcleo textil para reducir el riesgo de falla en operación en una empresa minera?
- ¿De qué manera debe ser realizado el protocolo de trabajo para reducir los defectos del vulcanizado en caliente de las fajas transportadoras de minerales con núcleo textil en una empresa minera?
- ¿En qué forma debe ser realizado el proceso de vulcanizado en caliente de fajas transportadoras de minerales con núcleo textil para reducir las brechas de los estándares de seguridad y calidad en una empresa minera?
- ¿Cuál es la variación en la resistencia a la tracción de la faja transportadora de minerales con núcleo textil que tiene empalme vulcanizado en caliente?

1.4. Justificación e importancia

La justificación de este estudio radica en la necesidad de mejorar la eficiencia operativa y reducir los riesgos de fallas continuas en las operaciones mineras, mediante la evaluación del empalme vulcanizado en caliente de fajas transportadoras con núcleo textil. Las fajas transportadoras son componentes críticos en la industria minera, ya que facilitan el transporte continuo de minerales y, por tanto, cualquier interrupción en su operación puede generar significativas pérdidas económicas y productivas. Este estudio aborda los desafíos técnicos y operativos asociados con los empalmes de fajas transportadoras, proponiendo soluciones basadas en el análisis de métodos de vulcanización en caliente, conocidos por su eficacia y fiabilidad. Al centrarse en este procedimiento, se busca no solo aumentar la resistencia y durabilidad de las fajas, sino también reducir el tiempo de inactividad de la producción y los costos asociados con mantenimientos y reemplazos frecuentes.

La importancia de este estudio reside en su viabilidad para aportar mejoras en el proceso de empalmes de fajas transportadoras en la industria minera, contribuyendo a la seguridad, calidad y eficiencia operativa. Al diseñar un procedimiento específico y un protocolo de trabajo para el empalme vulcanizado en caliente, se pretende estandarizar prácticas que minimicen defectos y optimicen el desempeño de las fajas transportadoras. Además, al determinar la variación en la resistencia a la tracción de las fajas sometidas a este proceso, el estudio proporciona datos que pueden guiar futuras prácticas y políticas de mantenimiento. La implementación de las recomendaciones derivadas de esta investigación puede llevar a una reducción de los riesgos de fallas operativas, mejorando la continuidad de la producción y generando ahorros económicos para las empresas mineras.

1.5. Objetivo

1.5.1. *Objetivo general*

Evaluar el empalme vulcanizado en caliente de fajas transportadoras de minerales con núcleo textil para reducir los riesgos de falla continua en operación.

1.5.2. *Objetivos específicos*

- Diseñar el procedimiento del empalme vulcanizado en caliente de fajas transportadoras de minerales con núcleo textil para reducir el riesgo de falla en operación en una empresa minera.
- Realizar un protocolo de trabajo para reducir los defectos del vulcanizado en caliente de las fajas transportadoras de minerales con núcleo textil en una empresa minera.
- Realizar el proceso de vulcanizado en caliente de fajas transportadoras de minerales con núcleo textil para reducir las brechas de los estándares de seguridad y calidad en una empresa minera.
- Determinar la variación en la resistencia a la tracción de la faja transportadora de minerales con núcleo textil que ha sido sometida a un empalme vulcanizado en caliente.

1.6. Hipótesis

1.6.1. *Hipótesis general*

La evaluación del empalme vulcanizado en caliente de fajas transportadoras de minerales con núcleo textil permitirá reducir considerablemente los riesgos de falla continua en operación.

1.6.2. *Hipótesis específicas*

- El diseño del procedimiento permitirá mejorar el empalme vulcanizado en caliente de fajas transportadoras de minerales con núcleo textil en una empresa minera.

- El protocolo de trabajo fijado permitirá reducir los defectos del vulcanizado en caliente de las fajas transportadoras de minerales con núcleo textil en una empresa minera.
- El proceso de vulcanizado en caliente de fajas transportadoras de minerales con núcleo textil permitirá reducir las brechas de los estándares de seguridad y calidad en una empresa minera.
- La resistencia a la tracción de la faja transportadora de minerales con núcleo textil experimentará una variación luego de someterla a un empalme vulcanizado en caliente.

1.7. Variables y operacionalización de variables

Variable independiente

EMPALME VULCANIZADO EN CALIENTE

Variable dependiente

RIESGOS DE FALLA CONTINUA

1.7.1. Operacionalización de variables

Tabla 1

Matriz de operacionalización de las variables

Variable	D. Conceptual	D. Operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida
Variable independiente: EMPALME VULCANIZADO EN CALIENTE	Este empalme permite conseguir una buena disponibilidad mecánica, confiabilidad y eficiencia de la faja transportadora (Torres, 2018).	Procedimientos, protocolos y estándares de seguridad y calidad.	Procedimientos	Número de pasos predefinidos	Adimensional
			Protocolos	Normativas	Adimensional
			Estándares de seguridad y calidad	Temperatura de vulcanización	°C
				Espesor de banda	mm
				Tiempo de calentamiento	min
				Enfriamiento	min
				Roturas por impacto	Cantidad
				Daños por aprisionamiento	Cantidad
				Desgaste del cover superior (Cover de carga)	mm
				Daños provocados por objetos externos	Cantidad
Variable dependiente: RIESGOS DE FALLA CONTINUA	Existen daño normal que se puede controlar y aminorar para incrementar la vida útil de la faja, así como el daño evitable que se puede precaver por completo (Spinozzi, 2020)	Fallas en fajas transportadora.	Fallas en fajas transportadora	Desalineación de la faja transportadora	Grados (°)
				Falla en los empalmes	Cantidad

1.8. Metodología de la investigación

1.8.1. Unidades de análisis

La unidad de análisis para esta investigación fue la faja transportadora con núcleo textil denominada 240-CVB-033, que forma parte del proyecto SAG MILL BY PASS en la zona de chancado de la Unidad Minera Antamina. Esta unidad se encuentra ubicada en el distrito de San Marcos, provincia de Huari, departamento de Ancash, a una altitud promedio de 4300 m.s.n.m. La faja que es objeto de análisis presenta una longitud total de 50 metros, un ancho de 60 pulgadas, un espesor de 31 milímetros y opera las 24 horas del día durante los 7 días de la semana.

1.8.2. Tipo, enfoque y nivel de investigación

El tipo de investigación es aplicada. Tal como indica Lozada (2014) la investigación aplicada tiene por objetivo la generación de conocimiento con aplicación directa y a mediano plazo en la sociedad o en el sector productivo. Este tipo de estudio presenta un gran valor agregado por la utilización del conocimiento que proviene de la investigación básica.

El enfoque es cuantitativo, ya que se sustenta en la necesidad de analizar y medir de manera precisa y objetiva los efectos de la evaluación del empalme vulcanizado en caliente de fajas transportadoras de minerales con núcleo textil. A través de métodos numéricos y mediciones específicas, como ensayos de tracción según la norma ISO 283, se pretende cuantificar la eficacia del procedimiento diseñado y el protocolo establecido.

El nivel de investigación de este estudio es descriptivo. Se enfoca en describir el proceso del empalme vulcanizado en caliente de fajas transportadoras de minerales con núcleo textil, así como los riesgos de falla continua en operación en la industria minera. A través de recopilación de datos y observaciones, se busca proporcionar una visión clara y detallada de los procedimientos empleados y los resultados obtenidos en la aplicación de esta técnica, sin necesariamente establecer relaciones de causalidad o proponer soluciones (Hernández et al., 2014).

1.8.3. Diseño de la investigación

El diseño de la presente investigación es No experimental de corte Transversal. Como afirma Hernández et al. (2014) son estudios que se ejecutan sin manejar las variables y en los que solo se visualiza los fenómenos en su contexto natural para poder analizarlos. Aparte los estudios transversales se refieren a los estudios que se recolectan información en un momento único (Hernández et al., 2014).

1.8.4. Fuentes de información

- Literatura científica y técnica: Artículos académicos, revistas especializadas, libros y publicaciones relacionadas con la ingeniería de materiales, la industria minera y la gestión de riesgos operacionales.
- Normativas y estándares industriales: Normas internacionales y locales relacionadas con el empalme de bandas transportadoras, el manejo de materiales en la industria minera y la seguridad operativa en entornos industriales.
- Información técnica de fabricantes: Documentación técnica proporcionada por fabricantes de fajas transportadoras, equipos de vulcanización, y materiales utilizados en el proceso de empalme, que incluya especificaciones técnicas, manuales de usuario y recomendaciones de uso. Manual de empalme del fabricante (GOOD YEAR).
- Experiencia práctica en la industria: Entrevistas con profesionales y expertos en el campo de la ingeniería de materiales y la gestión de operaciones mineras, así como visitas a empresas mineras para observar prácticas de empalme y recopilar datos sobre la gestión de riesgos.

1.8.5. Población y muestra

El universo de este estudio está comprendido por todas las fajas transportadoras de minerales con núcleo textil utilizadas en la industria minera.

Población

La población de estudio de este trabajo de estudio está comprendida por la faja transportadora 240-CVB-033 del proyecto SAG MILL BY PASS en la zona de chancado de la Unidad Minera Antamina

Muestra

La muestra tendrá el mismo tamaño que la población, debido al acceso de la información dentro de la unidad minera, por lo que se selecciono por conveniencia. Está representada por datos obtenidos en el proceso de ejecución de empalme vulcanizado en caliente de faja transportadora 240-CVB-033.

1.8.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se emplearon fichas técnicas y planos de la faja transportadora brindados por la empresa minera, para obtener los valores de diseño de la faja transportadora en mención, asimismo los cálculos de verificación del diseño se sustentan en la norma DIN 22101. Además, se consultó el manual de empalme proporcionado por el fabricante para asegurar el correcto procedimiento de empalme vulcanizado en caliente requerido para la faja transportadora sometida a estudio. Todo el análisis llevado a cabo servirá como fundamento para el diseño de empalme vulcanizado en caliente de la faja transportadora con el objetivo de reducir los riesgos de falla continua durante su funcionamiento.

De igual manera, a través del análisis documental se realiza la recopilación de documentos referenciales para el desarrollo de este proyecto, tales como:

- Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería:
 - D.S. 024 – 2016 – EM
 - D.S. 023 – 2017 – EM. (Modificatoria)

- Norma técnica de faja transportadora con núcleo textil:
 - DIN 22101
 - DIN 22102
- Norma técnica para el ensayo de tracción de una faja transportadora con núcleo textil:
 - ISO 283
- Hoja técnica:
 - Manual de empalme correa GOOD YEAR
- Manual de empalme del fabricante (GOOD YEAR)

Este análisis documental no solo proporciona información relevante, sino que también respalda la toma de decisiones informada, asegurando la adopción de prácticas y estándares reconocidos en la industria. La utilización de normativas y manuales específicos contribuye a la evaluación de empalme vulcanizado en caliente que cumple con las regulaciones de seguridad y las especificaciones técnicas pertinentes, promoviendo así un ambiente de trabajo más seguro y eficiente.

Considerando toda la información recopilada, a continuación, se describen las etapas que se llevarán a cabo para la evaluación de empalme vulcanizado en caliente de fajas transportadoras de minerales con núcleo textil para reducir los riesgos de falla continua en operación.

Observación y toma de datos:

Se realizó una visita técnica a la Unidad Minera con la finalidad de inspeccionar y observar las condiciones de operación de la faja transportadora con núcleo textil. Durante esta visita, se recopilaron datos relevantes sobre los parámetros de operación de la faja transportadora, la codificación y la marca de la faja transportadora.

1.8.7. Análisis y procesamiento de datos

Durante el análisis y procesamiento de los datos recolectados, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Mediciones detalladas: Se recopiló información detallada sobre la banda transportadora, incluyendo longitud, anchura, espesor total de la faja, espesor de la cubierta de carga y la cubierta de retorno, así como el número de telas o lonas. Estos datos fueron fundamentales para determinar la longitud del

empalme y los detalles técnicos necesarios para el proceso de vulcanización en caliente, los cuales fueron validados con el manual del empalme del fabricante.

- Definición de materiales: Se especificaron los materiales necesarios y las cantidades requeridas para el empalme vulcanizado en caliente de la faja, incluyendo la goma cojín, caucho de la cubierta superior e inferior, y otros materiales como cemento vulcanizante, tela vulcatix, papel siliconado y brochas para encementar. Se detallaron los espesores requeridos para cada material.
- Parámetros del sistema de vulcanizado: Se consultaron los parámetros recomendados por el manual del fabricante (GOOD YEAR) para el vulcanizado en caliente, los cuales dependen de tres variables: tiempo, presión y temperatura. Estos parámetros fueron considerados para garantizar un proceso de empalme eficiente y seguro.
- Determinación de procesos: Se identificaron los procesos involucrados en el empalme vulcanizado en caliente, incluyendo el calentamiento, vulcanización y enfriamiento. Estos procesos fueron planificados y documentados para una ejecución precisa y controlada.
- Designación del personal: Se designó al personal calificado y capacitado para llevar a cabo el proceso de empalme, incluyendo el supervisor de seguridad (SSOMA), el supervisor de operaciones y los técnicos vulcanizadores, asegurando así la ejecución adecuada de las tareas.
- Verificación de la resistencia a la tracción: Se planificó la verificación de la resistencia a la tracción de una muestra de material empalmado, siguiendo las pautas establecidas por la norma ISO 283. Este proceso de verificación permitirá evaluar la calidad y la integridad del empalme realizado.

Capítulo II. Marco teórico y conceptual

2.1. Marco teórico

2.1.1. Faja transportadora

Es un medio de transporte continuo ampliamente utilizado en procesos industriales para el traslado eficiente de materiales, ya sea a distancias cortas o largas. Estas fajas transportadoras pueden configurarse con recorridos infinitos, ya sea horizontalmente, con inclinaciones positivas o negativas, curvas cóncavas o convexas, o combinaciones de estas. Pueden clasificarse como móviles, fijas o de giro radial. Las principales componentes del sistema de faja transportadora incluyen rodillos, poleas, la banda transportadora en sí, el equipo motriz y diversos accesorios. En la actualidad, este sistema demuestra su capacidad para transportar grandes cantidades de material de manera eficiente y efectiva (Lengua, 2016).

Según González y Lobos (2018), es un sistema de transporte continuo conformado por una banda que se mueve entre dos tambores. Este sistema se emplea mayormente cuando la cantidad de material a transportar es relativamente grande y suele ser impulsado de manera mecánica. Estos sistemas suelen tener las siguientes características.

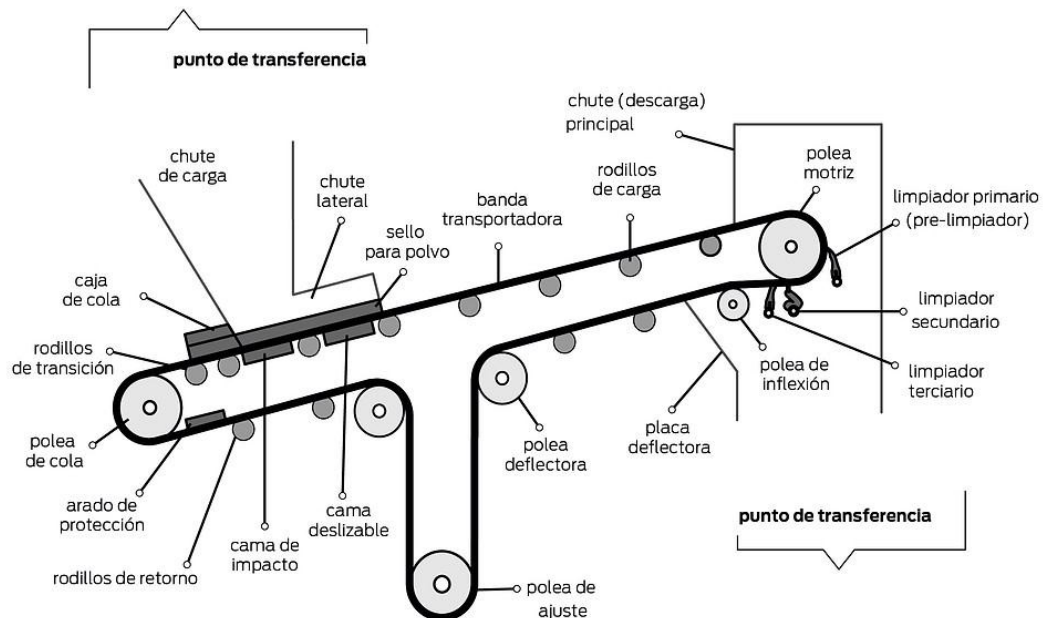
- Mayormente son mecanizados y a veces automatizados.
- Son fijos con rutas establecidas.
- Están montado sobre el suelo o suspendidos del techo.
- Mayormente limitados a un sentido unidireccional en el transporte de materiales.
- Dependiendo de la industria suelen mover pequeñas a grandes cantidades de material.
- Suelen emplearse para transporte o transporte y almacenamiento automático.

2.1.1.1. Componentes

En la Figura 1 se puede observar los componentes de una faja transportadora.

Figura 1

Componentes de una faja transportadora



Nota: Tomado de Spinozzi, 2019

Banda

Según Puente (1999) son usados para transportar todo tipo de material siendo condicionado su uso por las características del material transportado.

Según Lengua (2016) es el elemento que soporta el material a transportar y desplazarlo de un punto a otro.

Según Salinero (2013) es uno de los elementos más importantes de todo el sistema pues debe cumplir con las siguientes funciones.

- Absorber la tensión generada al momento del arranque.
- Transportar la carga.
- Absorber la energía del impacto al momento de colocar la carga.

- Soportar los efectos de temperatura y agentes químicos que contiene el material transportado.
- Cumplir con las normas de seguridad.

Poleas

Son usadas principalmente para cambiar de dirección de la banda, estas pueden ser motrices o no motrices (Lengua, 2016).

Limpiadores

Este elemento es el encargado de mantener la banda transbordadora limpia, libre de elementos extraños (Lengua, 2016).

Rodillos

De acuerdo con Salinero (2013) los rodillos son uno de los componentes principales de una cinta transportadora, y de su calidad depende en gran medida el buen funcionamiento de la misma. El otro componente que en orden de importancia influye en la vida de los rodillos, es el sistema de juntas de estanqueidad, pues de la eficacia de esta depende la mayor o menor contaminación de la grasa lubricante.

Tensores de banda

Tal como indica Salinero (2013) permite controlar la tensión de los tambores de la banda transportadora por medio de ambos interruptores de presión y un acumulador oleoneumático.

Son los encargados de mantener un adecuado tensado de la banda en sus diferentes zonas, otra función que cumplen es de evitar el derramamiento de material debido a la falta de tensión en la correa (Lengua, 2016).

Bastidores

Según Salinero (2013) enfatiza que son los componentes más sencillos de las fajas, cuya función es soportar las cargas de material, banda, rodillos y las cubiertas de protección contra el viento.

Chutes

Se utilizan para transportar material de un paso del proceso a otro en las operaciones mineras. Cuando el material se introduce en un proceso o se descarga de él, las tolvas recogen, transportan y preparan el flujo de material para la siguiente fase de procesamiento. (Lengua, 2016).

2.1.1.2. Uniones de bandas transportadoras

Para Lucio y Plancarte (2015), en la actualidad, los métodos más comunes para unir las bandas transportadoras incluyen el empalme mecánico con grapas, el vulcanizado en caliente y el vulcanizado en frío.

La unión de bandas se puede realizar mediante grapas o vulcanización. Para bandas cortas de 20 a 30 metros, se suministran cerradas, es decir, sin fin, lo que implica que ya tienen vulcanización de fábrica. En el caso de bandas más largas, la unión se lleva a cabo en el sitio de trabajo, ya sea mediante vulcanización o mediante la unión por grapas.

La unión de los extremos de una banda se conoce como empalme y suele ser el punto más vulnerable en un sistema de transporte. La durabilidad de este empalme depende principalmente de dos factores: la destreza del operario que realiza la unión y la calidad de los materiales utilizados (Dunlop, 2022).

Tipos de empalme

Según Granda (2020) los tipos de empalme son los siguientes:

Tabla 2

Ventajas y desventajas de empalme mecánico y vulcanizado

Tipo de Empalme	Ventajas	Desventajas
Mecánico	<ul style="list-style-type: none">• Rápido de realizar.• Bajo costo inicial.• Permite re-tensionar la banda en corto tiempo.	<ul style="list-style-type: none">• Exposición de filos.• Superficie rugosa.• Fugas.• Retienen el calor.• Daña los limpiadores.• Limitados por el diámetro de la polea.
Vulcanizado	<ul style="list-style-type: none">• Soporta altos esfuerzos.• Mayor vida útil.• Empalme amplio, sin sobresaltos.	<ul style="list-style-type: none">• Alto costo al iniciar.• Requiere tensor de largo recorrido.• Mayor tiempo en para para reparaciones.• Complejo de realizar.

Nota: Tomado de Granda, 2020, "Mantenimiento y cambio total de una faja transportadora de 15 kilómetros de desarrollo por desgaste en minera las Bambas".

2.1.1.3. Vulcanizado

Lucio y Plancarte (2015) explican que la vulcanización es un proceso fundamental en la mejora de las propiedades del caucho. Esta técnica va más allá de simplemente tratar el material con azufre; es un procedimiento que transforma las características del caucho, proporcionándole durabilidad, elasticidad y resistencia, cualidades cruciales para diversas aplicaciones industriales. La vulcanización es un proceso ampliamente utilizado en la unión de materiales, extendiéndose más allá del caucho para incluir diversos materiales como plásticos y metales. Este método implica la formación de enlaces duraderos entre diferentes materiales mediante la aplicación controlada de calor. Su versatilidad lo convierte en una técnica de unión eficiente y adaptable.

2.1.1.4. Empalme vulcanizado en caliente

Tal como expresa Lucio y Plancarte (2015) es realizado por medio de prensas vulcanizadoras, proporcionan una mayor resistencia, duración y suavidad en el funcionamiento. En este tipo de empalme resulta imposible la filtración de material

transportado, evitando daños en las demás partes de la faja transportadora, la desventaja frente a los otros tipos de empalme es su alto costo y a su gran tiempo de realización.

2.1.1.5. Empalme vulcanizado en frío

Lucio y Plancarte (2015) señalan que en este tipo de empalme se emplean cementos especiales que vulcanizan químicamente a temperatura ambiente, para su ejecución no es necesario el uso de prensas vulcanizadoras, su ejecución es sencilla. Su duración está sujeta a la temperatura que opera la banda transportadora.

2.1.2. Riesgos de falla continua

Las fallas en una faja transportadora se dividen en desgaste normal y daño evitable. Un daño normal se puede controlar y aminorar para incrementar la vida útil de la faja. En cambio, el daño evitable se puede precaver por completo (Spinozzi, 2020).

Estos daños se clasifican en 11 tipos que difieren de acuerdo con la rama de la industria y las condiciones en las cuales se labora.

2.1.2.1. Rotura por impacto

Se origina en el área de carga del material. Este tipo de daño ocurre cuando el material que se traslada impacta el recubrimiento superior de la cinta receptora debido a una caída con velocidad, provocando que la cinta no absorba completamente dicho impacto. Los signos de este tipo de daño son visibles en la capa, donde se puede observar la presencia de huecos, perforaciones o rasguños espontáneos. En situaciones en las cuales el impacto es excepcionalmente fuerte, la cinta puede rasgarse de manera rápida (Spinozzi, 2020).

2.1.2.2. Daño por aprisionamiento

Se visualiza cuando aparecen surcos a cada lado de la cinta cerca del borde, los cuales pueden generarse por 2 causas: El primero es causado por la presión desarrollada por las guarderas laterales. Además, cuando se usa cauchos duros o bandas empleadas

como guarderas laterales, se genera un fuerte desgaste en los puntos de contactos con la banda.

Mientras que la segunda causa hace referencia al daño por aprisionamiento, se produce cuando el material se queda atascado entre el sistema de guarderas y la cinta transportadora (Spinozzi, 2020).

2.1.2.3. Desalineación de la banda y daño en los bordes

Cuando la banda se desalinea, por lo común, tiene contacto con la estructura de la cinta, lo que ocasiona que los bordes empiecen a desgastarse o muestren roturas. Si esta situación no se soluciona, el ancho de la banda se va reduciendo paulatinamente, afectando así la capacidad de traslado de la banda transportadora (Spinozzi, 2020).

2.1.2.4. Separación de capas de la cinta

Esta falla se manifiesta de manera clara en los bordes de la banda, específicamente en la zona intermedia de los recubrimientos o entre los tejidos. Las capas de la cinta se separan entre sí o que el recubrimiento se desvincula del sándwich de tejidos. Este problema se origina principalmente debido a la calidad de la cinta, la cual queda expuesta al entorno del proceso productivo (Spinozzi, 2020).

2.1.2.5. Desgaste de capa superior

Esta problemática se evidencia en situaciones de fuerza abrasiva extrema, como se encuentra comúnmente en aplicaciones de trituración. En estos casos, el material resultante de la trituración tiende a ser altamente abrasivo, provocando un desgaste significativo en la capa superior de la banda transportadora. Cuando el flujo del material no se gestiona de manera adecuada o hay presencia de contaminantes, el desgaste experimenta un incremento considerable (Spinozzi, 2020).

2.1.2.6. Daños provocados por objetos ajenos

Estos daños son bastante complicados de gestionar, ya que se puede presentar el escenario donde una pieza de metal ingrese la cinta transportadora y queda atrapada en

la banda. De igual manera, si el metal alcanza el tambor de accionamiento, puede cortar la banda longitudinalmente. Este tipo de daño es difícil de controlar debido a su naturaleza rápida e imprevista (Spinozzi, 2020).

2.1.2.7. Grietas y resquebrajeo del recubrimiento superior

Esta falla ocurre cuando existe una diferencia entre los diámetros de las poleas y la cinta. Cuando la cinta gira en relación a un radio muy pequeño provoca una sobretensión en la banda, generando un resquebraje en el recubrimiento superior e impactando a la vez el recubrimiento inferior. Colocar una cinta más gruesa no asegura que su vida útil se prolongue, porque ante diámetros pequeños de rolos se acrecienta las fuerzas tensionales a la que son sometidas. Se puede visualizar estas grietas cuando el caucho ya está muy desgastado o el material que se está trasladando no concuerdan con las particularidades de la cinta (Spinozzi, 2020).

2.1.2.8. Deterioro provocado por exceso de calor

Al transportar material caliente y no tener el tipo de caucho correspondiente en la banda transportadora se genera quebraje sobre la capa superior de la banda, se llegue a formar agujeros o que las telas se separen. Esto puede ser perpendicular o paralelo a la dirección de la trayectoria (Spinozzi, 2020).

2.1.2.9. Falla en empalmes

Esta falla se produce cuando hay una disparidad en los diámetros de las poleas y la cinta. Cuando la cinta gira alrededor de un radio muy pequeño, genera una sobretensión en la banda, ocasionando fisuras en el recubrimiento superior e impactando simultáneamente el recubrimiento inferior. Aumentar el grosor de la cinta no asegura una vida útil más prolongada, ya que diámetros reducidos de las poleas incrementan las fuerzas tensionales a las que está expuesta. Además, estas grietas son más evidentes cuando el caucho está muy desgastado o cuando el material transportado no se ajusta a las características de la cinta (Spinozzi, 2020).

2.1.2.10. Concavidad de la cinta

A partir de esta falla se puede inferir la existencia de calor, sobretensión de la cinta, ángulo de canal muy severo, así como distancias cortas de transición. A la vez, si el producto es trasladado ataca quicamente a la banda, genera que el daño sea mayor, lo cual puede contraer o expandir el recubrimiento superior (Spinozzi, 2020).

2.1.2.11. Flexión longitudinal de la cinta

Se refiere a la capacidad de la banda o cinta transportadora para adaptarse a cambios en la dirección de su recorrido, ya sea en trayectos rectos o curvos (Spinozzi, 2020).

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Banda

Tienen un papel crucial en el sector industrial porque puede transportar materiales a grandes distancias, es capaz de adaptarse fácilmente al terreno, puede trasladar enormes cantidades de materiales y distintos tipos como minerales, vegetales, alimentos, materiales de construcción, entre otros (Cardona & Garavito, 2022).

2.2.2. Cabezal

Es la parte donde ocurre el movimiento de la banda por medio de poleas que son cilindros o tambores que a través de su giro transmiten tracción a la banda. Tanto la velocidad tangencial del giro de las poleas como la velocidad de la banda que lleva durante su recorrido son iguales. En ciertos tipos de bandas que necesitan mayor tracción se usan reductores sincronizados, así como arreglos de motores para brindar mayor torque (Hurtado & González, 2010).

2.2.3. Rodillos

Estos elementos son abundantes en la estructura de la banda, ya que proporcionan soporte a la trayectoria y dan forma a la banda para contener de manera adecuada los materiales transportados. Normalmente, se presentan en conjuntos de tres, con un rodillo

central en posición horizontal y dos rodillos laterales dispuestos en un ángulo de 20°, 35° o 45° con respecto a la horizontal (Hurtado & González, 2010).

2.2.4. Bastidores

Estos elementos estructurales son parte integral de las bandas, proporcionando el soporte necesario, incluyendo la carga transportada, desde el punto de alimentación hasta el punto de descarga (Hurtado & González, 2010).

2.2.5. Empalme

La unión de los extremos de una banda es denominada empalme, comúnmente es el punto más frágil en un sistema de transporte. El empalme depende de dos factores los cuales son la habilidad de la persona que realiza el empalme y la calidad de los materiales (Dunlop, 2022).

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1. Situación actual

El estudio se enfocó en una compañía minera situada en la región montañosa del departamento de Ancash a una altitud de 4300 m s. n. m, la temperatura de la zona varía entre los -10°C y los 35°C. La faja transportadora sometida a estudio se encuentra en funcionamiento las 24 horas al día y los 7 días de la semana, con una capacidad de diseño de 4750 toneladas/hora; debido a su criticidad en la línea de producción, la faja transportadora no puede estar inoperativa a causa de las fallas que esta presenta, lo que conlleva a planificar una parada de planta de 1 día para realizar la actividad del empalme vulcanizado en caliente. Por otro lado, los daños que presenta la faja transportadora son en una zona en específica y no en toda su longitud; es por eso que no es necesario cambiar toda la faja transportadora lo cual significaría un gasto excesivo en la compra de una faja transportadora nueva y en el aumento de los días de parada para ejecutar el cambio de faja y el empalme de la nueva faja transportadora. Su capacidad nominal, es decir la capacidad con la cual la faja transportadora moviliza el material es de 3800 toneladas/hora; la faja transportadora pertenece al circuito de chancado de piedras pequeñas denominado Planta Chancadora de Pebble en el cual se reduce el tamaño del mineral duro obteniendo como resultado final cobre, zinc y bismuto. El material para transportar de esta faja en particular es cobre (Cu) cuya densidad es de 2600 kg/m³ y la velocidad con la cual la faja transporta este material es de 422 pies/min. La faja transportadora sometida a análisis forma parte del sistema de transporte denominado en la Unidad Minera como transportador de faja 240-CVB-033. El ancho de la banda transportadora es de 60 pulgadas y tiene una codificación EP 1600/4 15+6, es decir que la resistencia a la rotura de la faja transportadora es de 1600 N/mm, posee 4 lonas o capas, el espesor de la capa superior (cover de carga) es de 15 mm y el espesor de la capa inferior (cover de retorno) es de 6 mm. Actualmente, la empresa lleva a cabo un mantenimiento adecuado de sus activos. No obstante, presenta

fallas o riesgos de falla durante la operación de una de sus fajas transportadoras en la zona de chancado.

3.2. Fallas continuas en operación de la faja a analizar

3.2.1. Fallas en la faja transportadora 240-CVB-033

Las fallas actuales durante la operación de la faja transportadora son las siguientes:

Se puede observar en la siguiente imagen que la cubierta superior de la faja transportadora presenta un desgaste y un ligero desprendimiento de la primera lona o capa. Puede significar un riesgo de falla durante la operación si no se repara a tiempo.

Figura 2

Desprendimiento de la capa superior de la faja transportadora textil



Nota: Tomado de la Unidad Minera Antamina.

Además, las fotografías proporcionan evidencia de que en otra sección de la faja se llevó a cabo una reparación en frío como respuesta a la existencia de un corte pasante a la banda, con una longitud de aproximadamente 230 mm.

Figura 3

Corte pasante de 230 mm de largo en la faja transportadora textil



Nota: Tomado de la Unidad Minera Antamina.

Figura 4

Reparación en frío con un parche en la zona del corte pasante en la faja transportadora textil



Nota: Tomado de la Unidad Minera Antamina.

Se puede observar que la reparación en frío no fue una práctica adecuada para corregir el corte pasante, también podemos observar que la cubierta superior de la faja quedó con pequeños daños aún con el empalme vulcanizado en frío.

Figura 5

Cubierta superior de la faja transportadora textil con un mal acabado luego del empalme vulcanizado en frío



Nota: Tomado de la Unidad Minera Antamina.

Figura 6

Cubierta inferior de la faja transportadora textil desgastada en la zona del empalme vulcanizado en frío



Nota: Tomado de la Unidad Minera Antamina.

Figura 7

Cubierta superior de la faja transportadora textil desgastada



Nota: Tomado de la Unidad Minera Antamina.

De acuerdo con las fallas presentadas en la faja transportadora 240-CVB-033, se procedió a evaluar el dimensionamiento de la faja y sus componentes, esto se realizó con la finalidad de corroborar si los parámetros actuales de operación de la faja transportadora concuerdan con los parámetros de diseño de una faja transportadora según el Manual Conveyor Equipment Manufacturers Association CEMA y la norma DIN 22101.

Luego se verificará si la técnica de empalme empleada actual en la faja transportadora es la adecuada o si el procedimiento del empalme se está realizando correctamente, de acuerdo al Manual de Empalme del fabricante Good Year.

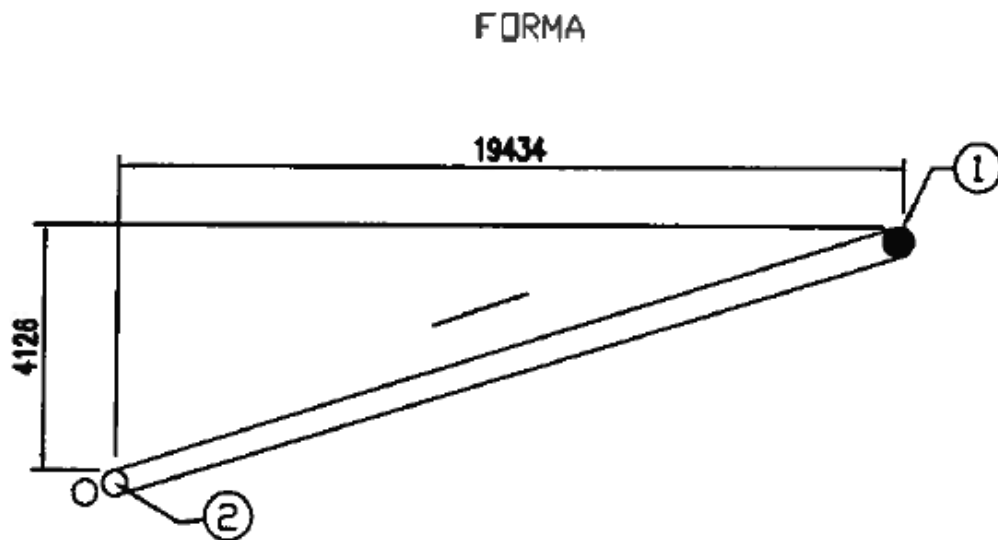
3.3. Validación del dimensionamiento de la faja transportadora

3.3.1. Datos de entrada

La faja transportadora para analizar presenta el siguiente perfil:

Figura 8

Esquema de Faja Transportadora 240-CVB-033



Nota: Tomado de la Unidad Minera Antamina.

Donde:

1: Polea motriz de la faja transportadora 240-CVB-033.

2: Polea de cola o tensora de la faja transportadora 240-CVB-033.

Tabla 3*Datos de entrada para la validación de la faja transportadora*

Ítem	Descripción	Símbolo	Unidades	Datos
1	General			
	Número de transportador	-	-	240-CVB-033
	Altitud	Alt	m s. n. m.	4300
	Temperatura mínima	Tmin	°C	-10
	Temperatura máxima	Tmax	°C	35
	Porcentaje de humedad	Hu	%	3.8
	Gravedad	g	m/s ²	9.81
	Factor de arranque	p_A	-	1,4
2	Material			
	Material a transportar	Cu	-	-
	Densidad	δ	kg/m ³	2600
	Ángulo de reposo	φ_r	grados sexagesimales	38°
	Ángulo de sobrecarga	φ_s	grados sexagesimales	20°
3	Datos de diseño			
	Ancho de faja	B	pulg	60
	Longitud horizontal	L _h	mm	19 434
	Altura vertical	H	mm	4126
	Inclinación	λ	grados sexagesimales	12°
	Ángulo de abrazamiento	θ	grados sexagesimales	180°
	Longitud (entre centros)	L	mm	19 878
	Capacidad nominal	Qn	t/h	3800
	Capacidad de diseño	Qd	t/h	4750
	Velocidad de faja	V	pies/min	422
	Horas de operación por día	-	horas	24
4	Resultados de diseño			
	Tensiones con carga	T1	lbf	17 171
		T2	lbf	9190
	PIW de la correa con capacidad de diseño	-	lbf/pulg	286
	Tensión de la correa durante la aceleración	-	lbf	19 231
	PIW de la correa durante la aceleración	-	lbf/pulg	321
5	Faja transportadora			
	Marca	-	-	Good Year
	Desarrollo incluido empalme	Ld	m	50
	Tipo de faja transportadora	-	-	EP 1600
	Número de lonas	-	-	4
	Cubierta	-	-	RMA I
	Espesor superior	-	mm	15
	Espesor inferior	-	mm	6

	Carga de rotura mínima de la correa		lb	56 400
	PIW rotura mínima de la correa	-	lb/pulg	9400
6	Rodillos			
	Clasificación CEMA rodillos de carga	-	-	CEMA E7
	Clasificación CEMA rodillos de retorno	-	-	CEMA E6
	Ángulo de inclinación de rodillos de carga e impacto	β	grados sexagesimales	35°
7	Suministro de energía			
	Potencia de motor eléctrico	Pot	Hp	150
	Tensión	V	V	460
	Frecuencia	f	Hz	60
	Nº de fases	-	Ø	3

Donde:

PIW: unidad de medida de la tensión de la faja transportadora (lbf/pulg).

3.3.2. Cálculo de la faja transportadora

Para tener unos resultados sólidos y con fundamento en los cálculos realizados en los siguientes subcapítulos, se realizan en base al análisis recomendado por la Norma CEMA para los cálculos de la capacidad de la faja transportadora, y la Norma DIN 22101 para determinar las resistencias al movimientos y tensiones actuales durante la operación.

3.3.2.1. Capacidad de la faja transportadora

Capacidad volumétrica de la faja, representa da en la ecuación 1.

$$Qv = \frac{Qd}{\delta} \quad (1)$$

Donde:

Qv: Capacidad volumétrica en m³/s.

Qd: Capacidad de diseño en kg/s. Según Tabla 5.1, Qd = 3800 t/h.

δ : Densidad del material en kg/m³. Según Tabla 5.1, δ = 2600 kg/m³.

Resolviendo se tiene el siguiente valor según la ecuación 2:

$$Qv = 0,507 \frac{m^3}{s} \quad (2)$$

Convertimos la capacidad volumétrica (m^3/s) a su valor equivalente a una velocidad de $100 \frac{pies}{min}$. De la ecuación 3.

$$Q_{100} = Qv \times \frac{100 \frac{pies}{min}}{v} \quad (3)$$

Donde:

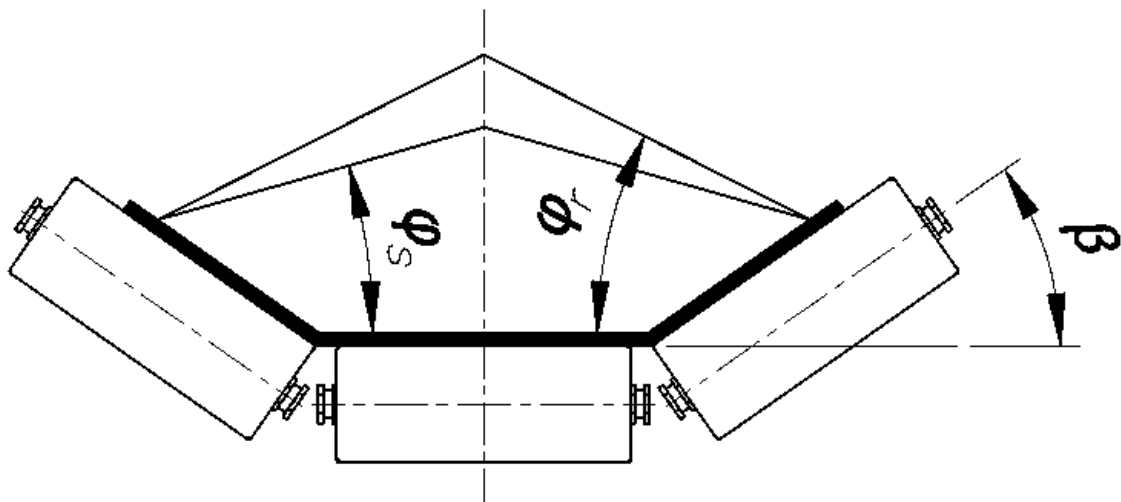
Q_{100} : Capacidad volumétrica real a una velocidad de $100 \frac{pies}{min}$ en m^3/s .

V : Velocidad de la faja transportadora en m/s . Según Tabla 5.1, $V = 422 \frac{pies}{min}$.

$$Q_{100} = 0,12 \frac{m^3}{s} \quad (4)$$

Teniendo en cuenta la recomendación del CEMA sobre la configuración de los rodillos de carga para una faja transportadora cuyo ancho es de 60 pulgadas, se tiene la siguiente figura.

Figura 9
Configuración recomendada por el Manual CEMA



Nota: Manual CEMA, 2002.

Con los datos de la Tabla 3, EL ancho de faja 60 pulgadas, ángulo de sobrecarga $\varphi_s = 20^\circ$ y ángulo de inclinación de los rodillos de carga $\beta = 35^\circ$ y una velocidad de $100 \frac{\text{pies}}{\text{min}}$, se calcula la capacidad volumétrica teórica con la Tabla 4.

Tabla 4
Capacidad volumétrica teórica en ft^3/h .

Belt Width (Inches)	A_t - Cross Section of Load (ft^2)							Capacity at 100 FPM (ft^3/hr)						
	Surcharge Angle							Surcharge Angle						
	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°
18	.144	.160	.177	.194	.212	.230	.248	864	964	1066	1169	1274	1381	1492
24	.278	.309	.341	.373	.406	.440	.474	1668	1857	2048	2241	2438	2640	2847
30	.455	.506	.557	.609	.662	.716	.772	2733	3039	3346	3658	3975	4300	4636
36	.676	.751	.826	.903	.980	1.060	1.142	4058	4508	4961	5419	5886	6364	6857
42	.940	1.044	1.148	1.254	1.361	1.471	1.585	5644	6266	6891	7524	8169	8830	9511
48	1.248	1.385	1.523	1.662	1.804	1.949	2.099	7491	8312	9138	9974	10825	11698	12598
54	1.599	1.774	1.950	2.128	2.309	2.494	2.686	9598	10646	11700	12768	13855	14969	16118
60	1.994	2.211	2.429	2.651	2.876	3.107	3.345	11966	13269	14580	15906	17257	18642	21058
72	2.913	3.229	3.547	3.869	4.197	4.532	4.879	17484	19378	21285	23215	25182	27196	29275
84	4.007	4.440	4.876	5.317	5.766	6.226	6.701	24043	26641	29256	31902	34597	37360	40210
96	5.274	5.842	6.415	6.994	7.584	8.189	8.812	31645	35058	38490	41966	45506	49134	52876

Nota: Tomado del Manual CEMA, 2002.

$$Q_{100t} = 17257 \frac{\text{ft}^3}{\text{h}} = 0,14 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (5)$$

Donde:

Q_{100t} : Capacidad volumétrica teórica a una velocidad de $100 \frac{\text{pies}}{\text{min}}$ en m^3/s .

Se comprueba que: $Q_{100t} > Q_{100}$.

Finalmente, la capacidad de llenado es:

$$\frac{Q_{100}}{Q_{100t}} \times 100 = 85,71 \%$$

Masa de la faja transportadora por metro lineal (mb)

Para calcular la masa por metro lineal de la faja transportadora, se debe calcular en primer lugar el peso de la faja por metro lineal (W_b) con ayuda de la Tabla 5. Los datos para calcular el peso de la faja serán el ancho de la faja $B = 60$ pulgadas y el peso específico del material a transportar en (lbf/pie^3).

El peso específico del material a transportar se calcula de la siguiente manera:

$$\gamma = \delta \times g \quad (6)$$

Donde:

γ : Peso específico en N/m^3 .

δ : Densidad del material en kg/m^3 . Según Tabla 5.1, $\delta = 2600 \text{ kg}/\text{m}^3$.

g : Gravedad en m/s^2 . Según Tabla 5.1, $g = 9,81 \text{ m}/\text{s}^2$.

$$\gamma = 25506 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} = 162,368 \frac{\text{lbf}}{\text{ft}^3}$$

Tabla 5

Peso de la faja transportadora por metro lineal en lbf/ft

Belt Width (inches (b))	Material Carried, $\text{lbs}/\text{cu ft}$		
	30-74	75-129	130-200
18	3.5	4.0	4.5
24	4.5	5.5	6.0
30	6.0	7.0	8.0
36	9.0	10.0	12.0
42	11.0	12.0	14.0
48	14.0	15.0	17.0
54	16.0	17.0	19.0
60	18.0	20.0	22.0
72	21.0	24.0	26.0
84	25.0	30.0	33.0
96	30.0	35.0	38.0

Nota: Tomado del Manual CEMA, 2002.

Tenemos:

$$Wb = 22 \frac{lbf}{ft} = 321,07 \frac{N}{m}$$

$$mb = \frac{Wb}{g} = 32,73 \frac{kg}{m} \quad (7)$$

Donde:

Wb: Peso promedio estimado de la faja transportadora en N/m.

mb: Masa de la faja transportadora por metro lineal en kg/m.

Masa del material a transportar por metro lineal (mL)

La masa del material a transportar por metro lineal (kg/m) se calcula en base a la fórmula recomendada por el Manual CEMA.

$$mL = \frac{Qd}{V} = \frac{4750 \frac{t}{h}}{422 \frac{pies}{min}} = 615,48 \frac{kg}{m} \quad (8)$$

Donde:

mL: más del material a transportar por metro lineal en kg/m.

Masa de rodillos por metro (mR)

De acuerdo con la Tabla 6, los rodillos para las estaciones de carga son de clasificación CEMA E7. Según el Manual CEMA el peso estimado (lbf) para los rodillos de carga se obtiene de la misma tabla.

Tabla 6

Peso de los rodillos de carga en lbf, para una faja transportadora de 60 pulgadas de ancho.

Belt Width (inches)	CEMA Idler Class								
	B4	B5	C4	C5	C6	D5	D6	E6	E7
18	15.0	19.2	14.5	19.1	26.7				
24	18.3	24.2	17.5	23.2	32.6	23.2	32.6		
30	21.8	28.3	20.5	26.8	38.0	26.8	38.0		
36	25.3	33.0	23.5	31.3	43.6	31.3	43.6	64.8	81.8
42	30.8	38.1	26.5	35.2	49.2	35.2	49.2	73.3	91.7
48	32.9	41.6	29.5	39.3	54.8	39.3	54.8	81.9	101.3
54				45.9	62.3	45.9	62.3	93.6	121.8
60				50.1	68.3	50.1	68.3	102.2	132.7
72						57.9	77.8	119.4	154.5
84								132.0	164.0
96								145.3	173.0

Nota: Tomado del Manual CEMA, 2002.

$$W_{Ro} = 132,7 \text{ lbf}$$

Donde:

W_{Ro} : Peso promedio de las piezas giratorias del rodillo de carga en lbf.

Ahora el peso aproximado de los rodillos de retorno:

Tabla 7

Peso de los rodillos de retorno en lbf, para una faja transportadora de 60 pulgadas de ancho

Belt Width (inches)	CEMA Idler Class								
	B4	B5	C4	C5	C6	D5	D6	E6	E7
18	13.1	16.3	12.2	16.6	21.6				
24	16.3	20.9	15.2	20.1	27.1	20.9	30.1		
30	19.5	24.5	18.2	24.0	32.3	25.8	35.4		
36	22.7	28.5	21.2	28.0	37.6	30.1	40.5	59.0	70.0
42	26.0	33.0	24.6	32.1	43.3	34.3	47.2	67.4	80.1
48	27.4	36.1	27.6	36.1	48.4	38.7	54.4	75.6	89.9
54						43.4	60.8	83.2	99.9
60						49.2	68.1	92.2	109.4
72						55.1	74.9	109.4	129.0
84								114.0	136.2
96								122.0	149.8

Nota: Tomado del Manual CEMA, 2002.

$$W_{Ru} = 92,2 \text{ lbf}$$

Donde:

W_{Ru} : Peso promedio de las piezas giratorias del rodillo de retorno en lbf.

La separación recomendada según el CEMA entre las estaciones de carga y las estaciones de retorno se pueden observar en la Tabla 8, se sabe que el peso específico es 162,368 lbf/ft³. Se tomará el valor más cercano en la Tabla 8.

Tabla 8

Distancia de separación de las estaciones de carga y de retorno en ft

Belt Width (Inches)	Troughing idlers Weight of material handled, lbs per cu ft						Return Idlers
	30	50	75	100	150	200	
18	5.5 ft	5.0 ft	5.0 ft	5.0 ft	4.5 ft	4.5 ft	10.0 ft
24	5.0 ft	4.5 ft	4.5 ft	4.0 ft	4.0 ft	4.0 ft	10.0 ft
30	5.0 ft	4.5 ft	4.5 ft	4.0 ft	4.0 ft	4.0 ft	10.0 ft
36	5.0 ft	4.5 ft	4.0 ft	4.0 ft	3.5 ft	3.5 ft	10.0 ft
42	4.5 ft	4.5 ft	4.0 ft	3.5 ft	3.0 ft	3.0 ft	10.0 ft
48	4.5 ft	4.0 ft	4.0 ft	3.5 ft	3.0 ft	3.0 ft	10.0 ft
54	4.5 ft	4.0 ft	3.5 ft	3.5 ft	3.0 ft	3.0 ft	10.0 ft
60	4.0 ft	4.0 ft	3.5 ft	3.0 ft	3.0 ft	3.0 ft	10.0 ft
72	4.0 ft	3.5 ft	3.5 ft	3.0 ft	2.5 ft	2.5 ft	8.0 ft
84	3.5 ft	3.5 ft	3.0 ft	2.5 ft	2.5 ft	2.0 ft	8.0 ft
96	3.5 ft	3.5 ft	3.0 ft	2.5 ft	2.0 ft	2.0 ft	8.0 ft

Nota: Tomado del Manual CEMA, 2002.

Separación estaciones de carga: $SR_o = 3$ ft.

Separación estaciones de retorno: $SR_u = 10$ ft.

La masa relativa a la longitud entre las estaciones de rodillos de carga y retorno se calcula de la siguiente manera:

$$m'_{Ro} = \frac{W_{Ro}}{S_{Ro} \times g} = \frac{132,7 \text{ lbf}}{3 \text{ ft} \times 9,81 \frac{m}{s^2}} = 65,82 \frac{kg}{m} \quad (9)$$

$$m'_{Ru} = \frac{W_{Ru}}{S_{Ru} \times g} = \frac{92,2 \text{ lbf}}{10 \text{ ft} \times 9,81 \frac{m}{s^2}} = 13,72 \frac{kg}{m} \quad (10)$$

Donde:

m'_{Ro} : Masa relativa a la longitud entre las estaciones de rodillos de carga en kg/m.

m'_{Ru} : Masa relativa a la longitud entre las estaciones de rodillos de retorno en kg/m.

Ahora la masa de partes giratorias por metro será:

$$mR = m'_{Ro} + m'_{Ru} = 79,54 \frac{kg}{m} \quad (11)$$

Donde:

mR: masa de rodillos por metro en kg/m.

3.3.2.2. Resistencia al movimiento de la correa

Resistencia principal (F_H)

$$F_H = f \times L \times g \times [mR + (2 \times mb + mL) \times \cos \lambda] \quad (12)$$

Fuente: Norma DIN 22102, 2002.

Según la norma DIN 22101, el valor del coeficiente de fricción para las fajas transportadoras de acuerdo con las condiciones actuales de trabajo según Tabla 9 será:

Tabla 9

Valores estándares para el coeficiente de fricción en fajas transportadoras

Criterion	Classification		
Internal friction of material to be conveyed	medium	low	high
Belt conveyor alignment	medium	good	bad
Belt tension	medium	high	low
Operating conditions (dusty, sticky)	Medium	good	bad
Idler diameter	108 to 159	>159	<108
Spacing of upper strand idlers in m	1.0 to 1.5	<1.0	>1.5
Spacing of lower strand idlers in m	2.5 to 3.5	<2.5	>3.5
Belt speed in m/s	4 to 6	<4	>6
Trough angle in °	25 to 35	<25	>35
Ambient temperature in °C	15 to 25	>25	<15
Friction coefficient f	standard value ≈ 0.020	means	
		decreasing	increasing
		friction coefficient f	
		down to / up to	
		0.010	0.040

Nota: Tomado de la Norma DIN 22102, 2002.

Donde:

f : Coeficiente de fricción para fajas transportadoras. Según Tabla 9, $f = 0,020$.

L: Longitud de la faja transportadora entre centros de las poleas. Según Tabla 10, L = 19,878 m.

λ : Ángulo de inclinación de la faja transportadora. Según Tabla 5.1, $\lambda = 12^\circ$.

F_H : Resistencia principal en N.

$$F_H = 0,02 \times 19,878 \times 9,81 \times [79,54 + (2 \times 32,73 + 615,48) \times \cos 12^\circ]$$

$$F_H = 2,91 \text{ kN}$$

Resistencias secundarias (F_N)

$$F_N = (C - 1) \times F_H \quad (13)$$

Según la norma DIN 22101, el valor del coeficiente de fricción para las fajas transportadoras de acuerdo a las condiciones actuales de trabajo según Tabla 10 será:

Tabla 10

Valores estándares del coeficiente C para instalaciones de fajas transportadoras

L in m	80	100	150	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500	≥2000
C	1.92	1.78	1.58	1.45	1.31	1.25	1.20	1.17	1.14	1.12	1.10	1.09	1.06	1.05

Nota: Tomado de la Norma DIN 22102, 2002.

La longitud de la faja sometida a estudio es de 19,878 m, para determinar el valor del coeficiente C se usará la técnica de la extrapolación. Se tomará los datos de las siguientes longitudes: L = 19,878 metros, 80 metros y 100 metros. Para el valor de C = X, 1,92 y 1,78.

$$\frac{80 - 19,878}{1,92 - x} = \frac{100 - 19,878}{1,78 - x}$$

Resolviendo se obtiene el valor de $x = 2,34$.

Donde:

F_N : Resistencias secundarias en N.

C: Factor de corrección de longitud. Según Tabla 10, $C = 2,34$.

$$F_N = (2,34 - 1) \times 2907,93 = 3,9 \text{ kN}$$

Resistencias debidas a la pendiente de la faja transportadora (F_{st})

Según la Norma DIN 22102, para calcular las resistencias debidas a la pendiente de la faja transportadora (F_{st}), primero se calcula las resistencias en la cubierta superior (lado carga) y cubierta inferior (lado retorno):

$$F_{st} = F_{sto} - F_{stu} \quad (14)$$

Fuente: Norma DIN 22102, 2002.

Resistencia a la pendiente - lado de carga:

$$F_{sto} = H \times g \times (mb + mL) \quad (15)$$

Donde:

H: Altura vertical de la faja transportadora en m. Según Tabla 10, $H = 4,126$ m.

F_{sto} : Resistencia a la pendiente – lado carga en N.

$$F_{sto} = 4,126 \times 9,81 \times (32,73 + 615,48) = 26,24 \text{ kN}$$

Resistencia a la pendiente - lado de retorno:

$$F_{stu} = H \times g \times (mb) \quad (16)$$

Donde:

H: Altura vertical de la faja transportadora en m. Según Tabla 10, $H = 4,126$ m.

F_{stu} : Resistencia a la pendiente – lado retorno en N.

$$F_{stu} = 4,126 \times 9,81 \times (32,73) = 1,33 \text{ kN}$$

Se tiene que la resistencia debido a la pendiente de la faja transportadora es:

$$F_{st} = F_{sto} - F_{stu} = 24,91 \text{ kN} \quad (17)$$

3.3.2.3. Fuerzas periféricas o tangenciales

Luego de calcular las resistencias al movimiento, se puede calcular la fuerza periférica de la polea motriz en operación y arranque:

Fuerza periférica en operación (F_U)

$$F_U = F_H + F_N + F_{st} \quad (18)$$

Donde:

F_U : Fuerza tangencial en la polea motriz en N.

F_H : Resistencias principales en N.

F_N : Resistencias secundarias en N.

F_{st} : Resistencia debida a la pendiente en N.

$$F_U = 31,72 \text{ kN}$$

Fuerza periférica en arranque (F_A)

$$F_A = \rho_A \times F_U \quad (19)$$

Donde:

F_A : Fuerza periférica en arranque en N.

ρ_A : Factor de arranque. Según Norma DIN 22101, $\rho_A = 1,5$.

$$F_A = 1,5 \times 31,72 = 47,58 \text{ kN}$$

Calculando la aceleración necesaria para el arranque (α_A):

$$\alpha_A = \frac{F_A - F_U}{L \times (C_{Ri} \times mR + 2 \times mb + mL)} \quad (20)$$

Donde:

α_A : Aceleración necesaria para el arranque en m/s^2 .

C_{Ri} : Coeficiente para calcular las masas de los rodillos reducidos a su periferia.

Según Norma DIN 22101, $C_{Ri}=0,9$.

$$\alpha_A = \frac{47,58 - 31,72}{19,878 \times (0,9 \times 79,54 + 2 \times 32,73 + 615,48)} = 1,06 \frac{m}{s^2}$$

Tiempo de arranque:

$$t_A = \frac{V}{\alpha_A} = 2,02 \text{ s} \quad (21)$$

Donde:

t_A : Tiempo de arranque en s.

3.3.2.4. Resistencia a la fricción y carga de inercia

Resistencia a la fricción (F_o y F_u)

Resistencia a la fricción – lado de carga (F_o)

$$F_o = f \times L \times g \times [(m'_{Ro} + mb + mL) \times \cos \lambda] \quad (22)$$

$$F_o = 0,02 \times 19,878 \times 9,81 \times [(65,82 + 32,73 + 615,48) \times \cos 12^\circ] = 2,72 \text{ kN}$$

Donde:

F_o : Resistencia a la fricción lado carga en N.

Resistencia a la fricción – lado de retorno (F_u)

$$F_u = f \times L \times g \times [(m'_{Ru} + mb) \times \cos \lambda] \quad (23)$$

$$F_u = 0,02 \times 19,878 \times 9,81 \times [(13,72 + 32,73) \times \cos 12^\circ] = 177,20 \text{ N}$$

Donde:

F_u : Resistencia a la fricción lado retorno en N.

Resistencias a las cargas de inercia (F_{ao} y F_{au})

Masa reducida de los rodillos de carga (m'_{Redo})

$$m'_{Redo} = C_{Ri} \times m'_{Ro} = 0,9 \times 65,82 = 59,24 \frac{kg}{m} \quad (24)$$

Donde:

m'_{Redo} : Masa reducida de los rodillos lado carga en kg/m.

Masa reducida de los rodillos de retorno (m'_{Redu})

$$m'_{Redu} = C_{Ri} \times m'_{Ru} = 0,9 \times 13,72 = 12,35 \frac{kg}{m} \quad (25)$$

Donde:

m'_{Redu} : Masa reducida de los rodillos lado retorno en kg/m.

Resistencia a la inercia en lado carga (F_{ao})

$$F_{ao} = \alpha_A \times L \times (m'_{Redo} + mb + mL) \quad (26)$$

$$F_{ao} = 1,06 \times 19,878 \times (59,24 + 32,73 + 615,48) = 14,91 \text{ kN}$$

Donde:

F_{ao} : Resistencia a la inercia en lado de carga en N.

Resistencia a la inercia en lado retorno (F_{au})

$$F_{au} = \alpha_A \times L \times (m'_{Redu} + mb) \quad (27)$$

$$F_{au} = 1,06 \times 19,878 \times (12,35 + 32,73) = 949,93 \text{ N}$$

Donde:

F_{au} : Resistencia a la inercia en lado de retorno en N.

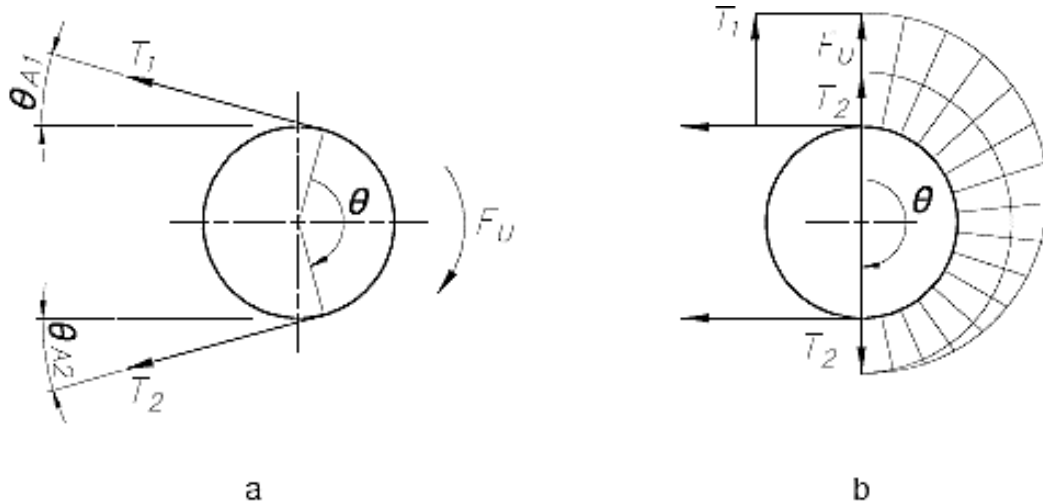
3.3.2.5. Tensiones en la polea motriz

Tensiones requeridas en operación (T_1 y T_2)

Las tensiones de entrada y salida de la polea motriz se relacionan mediante la ecuación de Euler – Eytelwein y se representan en la Figura 10.

Figura 10

a: Acción de fuerza periférica y tensiones en la polea motriz, b: Distribución de tensiones radialmente en polea motriz y ángulo de abrazamiento de la correa



Nota: Tomado de la Norma DIN 22102, 2002.

La ecuación de Euler – Eytelwein define la siguiente fórmula para calcular las tensiones requeridas en operación:

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{\mu \times \theta} \quad (28)$$

Donde:

T_1 : Tensión del lado de carga de polea motriz durante operación en N.

T_2 : Tensión del lado de retorno de polea motriz durante operación en N.

μ : Coeficiente de fricción de correa. Según Tabla 11, $\mu = 0,4$

θ : Ángulo de abrazamiento entre polea motriz y correa transportadora. Según Tabla 11, $\theta = 180^\circ$.

Tabla 11

Coefficientes de fricción μ recomendados entre correas con cubierta de caucho y poleas con diferente acabado aplicables al diseño y disposición de instalación de fajas transportadoras

Operating conditions	Friction coefficient μ for pulley surface			
	Metal surface (plain steel pulley)	Polyurethane lagging (arrow pattern)	Rubber lagging (arrow pattern)	Ceramic lagging with pores (arrow pattern)
Dry	0.35 to 0.4	0.35 to 0.4	0.4 to 0.45	0.4 to 0.45
Wet (clear water)	0.1	0.35	0.35	0.35 to 0.4
Wet (with mud and clay)	0.05 to 0.1	0.2	0.25 to 0.3	0.35

^a For conveyor belts with PVC cover layer approx. 10 % less friction coefficients shall be assumed.

Nota: Tomado de la Norma DIN 22102, 2002.

Ahora se relacionarán las tensiones actuantes en la polea motriz (T_1 y T_2) con la fuerza periférica (F_U) que se genera al accionar el sistema, se deduce lo siguiente:

$$T_1 = F_U \times 1 + \frac{1}{e^{\mu \times \theta} - 1} = F_U \times C_1 \quad (29)$$

$$T_2 = F_U + \frac{1}{e^{\mu \times \theta} - 1} = F_U \times C_2 \quad (30)$$

Donde:

T_1 : Tensión lado carga de polea motriz durante operación en N.

T_2 : Tensión lado retorno de polea motriz durante operación en N.

C_1 : Factor de apriete en el lado de carga de la faja transportadora en operación.

C_2 : Factor de apriete en el lado de retorno de la faja transportadora en operación.

$$C_1 = 1 + \frac{1}{e^{\mu \times \theta} - 1} \quad (31)$$

$$C_1 = 1 + \frac{1}{e^{(0,4 \times 180^\circ)} - 1}$$

$$C_1 = 1,397$$

$$C_2 = \frac{1}{e^{\mu \times \theta} - 1}$$

Fuente: Norma DIN 22102, 2002.

$$C_2 = \frac{1}{e^{(0,4 \times 180^\circ)} - 1}$$

$$C_2 = 0,397$$

Por consiguiente, las tensiones actuantes sobre la polea motriz en operación se calculan:

$$T_1 = F_U \times C_1 = 31,72 \times 1,397 = 44,32 \text{ kN} \quad (32)$$

$$T_2 = F_U \times C_2 = 31,72 \times 0,397 = 12,60 \text{ kN}$$

Tensiones requeridas en arranque (T_{A1} y T_{A2})

$$T_{A1} = F_A \times 1 + \frac{1}{e^{\mu_A \times \theta} - 1} = F_A \times C_{A1} \quad (33)$$

$$T_{A2} = F_A + \frac{1}{e^{\mu_A \times \theta} - 1} = F_A \times C_{A2}$$

Donde:

T_{A1} : Tensión del lado de carga de polea motriz en arranque en N.

T_{A2} : Tensión del lado de retorno de polea motriz en arranque en N.

C_{A1} : Factor de apriete en el lado de carga de la faja transportadora en operación.

C_{A2} : Factor de apriete en el lado de retorno de la faja transportadora en operación.

μ_A : Coeficiente de fricción de la faja transportadora con la polea motriz en arranque.

Según Tabla 11, $\mu_A = 0,45$.

$$C_{A1} = 1 + \frac{1}{e^{\mu_A \times \theta} - 1}$$

$$C_{A1} = 1 + \frac{1}{e^{(0,45 \times 180^\circ)} - 1}$$

$$C_{A1} = 1,321$$

$$C_{A2} = \frac{1}{e^{\mu_A \times \theta} - 1}$$

$$C_{A2} = \frac{1}{e^{(0,45 \times 180^\circ)} - 1}$$

$$C_{A2} = 0,321$$

Por consiguiente, las tensiones actuantes sobre la polea motriz en arranque se calculan:

$$T_{A1} = F_A \times C_{A1} = 47,58 \times 1,321 = 62,85 \text{ kN}$$

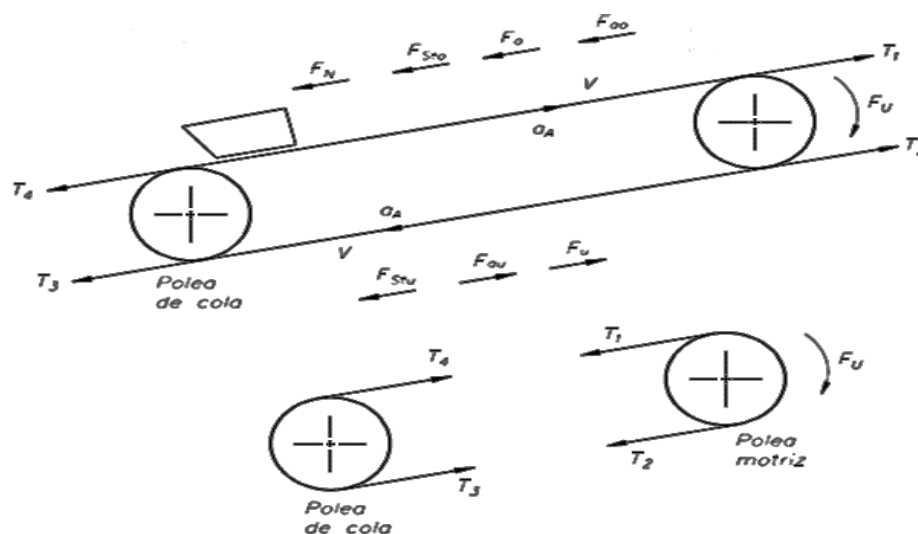
$$T_{A2} = F_A \times C_{A2} = 47,58 \times 0,321 = 15,27 \text{ kN}$$

Cálculo secuencial de tensiones

Para determinar las tensiones faltantes en el sistema (tensiones de arranque y de operación en la polea de cola), se realiza un análisis a partir de un diagrama de cuerpo libre (DCL) en el sentido en el que operan las resistencias secundarias, resistencias debidas a la pendiente, resistencias a la fricción, resistencias a la inercia.

Figura 11

Diagrama de cuerpo libre de resistencias al movimiento y tensiones actuantes en la faja transportadora



Nota: Tomado del Manual CEMA, 2002.

Del DCL en la Figura 11, se obtienen las siguientes expresiones:

$$T_3 = T_2 + F_u - F_{stu} \quad (34)$$

$$T_3 = T_4$$

$$T_3 = 12,60 \text{ kN} + 177,20 \text{ N} - 1,33 \text{ kN} = 11,46 \text{ kN}$$

Donde:

T_3, T_4 : Tensiones en la polea de cola durante operación en N.

$$T_{A3} = T_{A2} + F_u - F_{stu} + F_{au} \quad (35)$$

$$T_{A3} = T_{A4}$$

$$T_{A3} = 15,28 \text{ kN} + 177,20 \text{ N} - 1,33 \text{ kN} + 949,93 \text{ N} = 15,10 \text{ kN}$$

Donde:

T_{A3}, T_{A4} : Tensiones en la polea de cola en el arranque en N.

Con las tensiones calculadas, se realiza una comprobación de las tensiones T_1 y T_{A1} del DCL de la Figura 5.10.

$$T_1 = T_4 + F_N + F_o + F_{sto} \quad (36)$$

$$T_1 = 11,46 \text{ kN} + 3,9 \text{ kN} + 2,72 \text{ kN} + 26,24 \text{ kN} = 44,32 \text{ kN}$$

$$T_{A1} = T_{A4} + F_N + F_o + F_{sto} + F_{ao}$$

$$T_{A1} = 15,10 \text{ kN} + 3,9 \text{ kN} + 2,72 \text{ kN} + 26,24 \text{ kN} + 14,91 \text{ kN} = 62,85 \text{ kN}$$

Finalmente, las tensiones en la polea motriz se indican en la Tabla 5.10.

Tensión admisible en la correa (PIW)

$$PIW = \frac{T_1}{B} \quad (37)$$

Donde:

T₁: Tensión lado carga de polea motriz durante operación en N, T₁ = 44,32 kN.

B: Ancho de la faja transportadora. Según Tabla 12, B = 60 pulg.

Reemplazando los valores en iguales unidades, se obtiene:

$$PIW = \frac{9963,73 \text{ lbf}}{60 \text{ pulg}} = \frac{44,32 \text{ kN}}{1,52 \text{ m}}$$

$$PIW = 166,06 \frac{\text{lbf}}{\text{pulg}} = 29,16 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Tabla 12

Tensiones de operación y arranque en la polea motriz

Símbolo	Valor	Descripción
T ₁	44,32 kN = 9963,73 lbf	Tensión de operación lado de carga en operación
T ₂	12,60 kN = 2833,51 lbf	Tensión de operación lado de retorno en operación
T _{A1}	62,85 kN = 14128,94 lbf	Tensión de arranque lado de carga en arranque
T _{A2}	15,27 kN = 3433,61 lbf	Tensión de arranque lado de retorno en arranque
PIW	29,16 kN/m = 166,06 lbf/pulg	Tensión admisible en la correa

3.4. Descripción del procedimiento del empalme vulcanizado en caliente

3.4.1. *Empalme vulcanizado en caliente de fajas transportadoras con núcleo textil (EP)*

Antes de realizar el procedimiento del empalme vulcanizado en caliente, primero se calcula la longitud del empalme y el número de pasos (steps) que tendrá dicho empalme vulcanizado en caliente. Para determinar estos dos parámetros previos al proceso de vulcanizado en caliente, se tiene dos opciones:

- El manual del fabricante de la faja transportadora indica todos los parámetros correspondientes para una correcta ejecución del proceso de vulcanizado en

caliente de la faja transportadora. Se puede observar en la siguiente imagen todos los parámetros que puede brindarnos el manual del fabricante.

Tabla 13

Ficha técnica de la faja transportadora EP1600/4.

INFORMACIONES TECNICAS SOBRE LAS CORREAS TRANSPORTADORAS POLIESTER / NYLON

Tipo PLYLON®		EP 800/2	EP 1250/3	EP 1600/4	EP 2000/5	EP 2500/6
Número de telas		2	3	4	5	6
Empalmes mecánicos	Kn/m de ancho	70,0	-	-	-	-
	lbf/pul de ancho	400,0	-	-	-	-
Empalmes vulcanizados	Kn/m de ancho	82,0	125,0	165,0	206,0	250,0
	lbf/pul de ancho	470,0	714,0	940,0	1175,0	1428,0
Peso aproximado de la carcasa	Kg/m2	7,5	9,2	9,7	12,3	14,9
	Lb/ft2	1,5	1,9	2,0	2,5	3,0
Peso de Cubierta 1/32 pul						
Espesor B o stacker	Kg/m2	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Espesor de la carcasa	mm	6,0	7,1	8,2	10,3	12,4
	pul	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5
Indice de impacto	Lb -pul	9500	10900	11600	12700	13400

Obs.: Para empalmes mecánicos, recomendamos las grampas Flexco, Minet, Farp, Mastin, Steelace, Haydon y Nilos, apropiadas para el servicio mencionado.

ANCHO MAXIMO DE LA CORREA PARA POLINES DE CARGA HASTA 45 °

Tipo PLYLON®		EP 800/2		EP 1250/3		EP 1600/4		EP 2000/5		EP 2500/6	
Kg/ m3	lb/ft3	mm	pul	mm	pul	mm	pul	mm	pul	mm	pul
0-730	0-45	1500	60	1800	72	2200	84	2200	84	2200	84
730-1690	45-105	1350	54	1500	60	2200	84	2200	84	2200	84
1690-2650	105-165	1350	54	1350	54	1800	72	2200	84	2200	84
2650-3300	165-200	1200	48	1200	48	1500	60	1800	72	2200	84

ANCHO MINIMO DE LA CORREA PARA ACANALAMIENTO SOBRE POLINES

Tipo PLYLON®		EP 800/2		EP 1250/3		EP 1600/4		EP 2000/5		EP 2500/6	
Angulo de los polines		mm	pul	mm	pul	mm	pul	mm	pul	mm	pul
35°		600	24	750	30	900	36	1050	42	1200	48
45°		750	30	900	36	1050	42	1200	48	1350	54

DIAMETRO MINIMO DE LA POLEA MOTRIZ EN FUNCION DE LA TENSION APLICADA

Tipo PLYLON®		EP 800/2		EP 1250/3		EP 1600/4		EP 2000/5		EP 2500/6	
Tensión		mm	pul	mm	pul	mm	pul	mm	pul	mm	pul
Más de 80%		600	24	750	30	900	36	1000	40	1200	48
Entre 60% y 80%		500	20	600	24	750	30	900	36	1000	40
Entre 40% y 60%		450	18	500	20	600	24	750	30	900	36
Bajo de 40%		400	16	450	18	500	20	600	24	650	26
Poleas de cola y contacto		400	16	450	18	500	20	600	24	650	26

Nota: Tomado del Manual de fabricante Good Year, 2022.

- Revisar la norma DIN 22102 y ver las longitudes de empalme y el número de pasos (escalón) o steps que recomienda para cada tipo de faja transportadora textil. A continuación, se observa un extracto de toda la tabla que está en la norma DIN 22102 sobre fajas con núcleo textil (EP):

Tabla 14

Uniones múltiples en caliente para fajas transportadoras textiles

IMPERIAL PIW	Conversion 1.75	kg/cm	EUROPEO N/mm. EP	ESCALON mm.	EMPALME mm.
			200/2	150	300
140/2	“	245/2	250/2	200	400
			315/2	200	400
220/2	“	385/2	400/2	250	500
			500/2	300	600
			630/2	450	900
			800/2	500	1000
			1000/2	550	1100
			1250/2	600	1200
			200/3	150	300
			250/4	150	450
			250/3	200	400
			315/4	200	600
			315/3	200	400
			400/4	200	600
			400/3	250	500
			500/4	250	750
			630/5	250	1000
			500/3	250	500
			630/4	250	750
			800/5	250	1000
330/3	“	578/3	630/3	300	600
440/4	“	770/4	800/4	300	900
550/5	“	963/5	1000/5	300	1200
			1000/4	300	900
			1250/5	300	1200
			1250/4	400	1200
			1600/5	400	1600
			1600/4	400	1200
			2000/5	400	1600

Nota: Tomado de la Norma DIN 22102, 2006.

La segunda actividad a realizarse previo al proceso de vulcanizado en caliente de fajas transportadoras con núcleo textil es la de disponer adecuadamente los materiales, equipos y el kit de vulcanizado a utilizar. Se hará una breve lista de todo lo necesario:

- Herramientas menores

Tabla 15

Lista de herramientas para el proceso de vulcanizado en caliente de fajas textiles

ÍTEM	HERRAMIENTAS
1	Cuchillo de seguridad
2	Rodillo
3	Rodillo de púas
4	Mordaza autoprensora
5	Tenazas
6	Tiralínea
7	Disco de corte
8	Esmeril angular
9	Esmeril recto
10	Copa de tungsteno
11	Escobilla

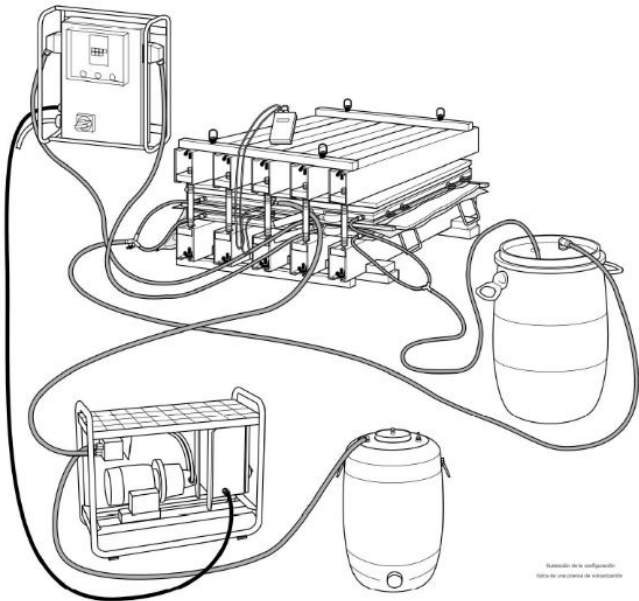
- Equipos

Tabla 16

Lista de equipos y otros elementos necesarios para el proceso de vulcanizado en caliente de fajas textiles

ÍTEM	EQUIPOS
1	Platos vulcanizadores
2	Rieles o vigas
3	Pernos de rieles
4	Bomba de agua
5	Bolsa de presión (vejiga)
6	Caja de control eléctrica
7	Mesas de trabajo
8	Esmeril recto

Figura 12
Equipos vulcanizantes y prensa vulcanizadora para empalme vulcanizado en caliente de fajas textiles



Nota: Tomado de NILOS, 2023. “Instrucciones de trabajo para el empalme de bandas textiles mediante un proceso en caliente”.

- Kit de empalme vulcanizado en caliente

Tabla 17
Lista de kit de empalme para el proceso de vulcanizado en caliente de fajas textiles

ÍTEM	KIT VULCANIZADO
1	Cemento vulcanizante
2	Caucho de cubierta
3	Goma cojin
4	Brochas
5	Papel siliconado
6	Tela vulcatrux

Figura 13

Kit de empalme vulcanizado en caliente para fajas textiles



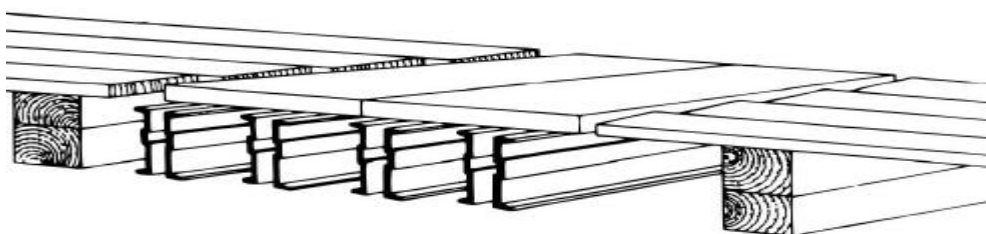
Nota: Tomado de NILOS, 2023. “Instrucciones de trabajo para el empalme de bandas textiles mediante un proceso en caliente”.

a. Preparación del área de trabajo

El primer paso a realizar durante la actividad del empalme vulcanizado en caliente es acondicionar el área de trabajo y colocar las mesas de trabajo que servirán como base sólida y alineada para hacer el procedimiento de empalme sobre un nivel uniforme. Sobre las mesas se colocan los rieles, la platina protectora, la bolsa de presión y los platos calefactores, que servirán como soporte inferior de la zona de empalme para la faja transportadora textil. Las dimensiones de cada componente a usar van a depender estrictamente del ancho de la faja transportadora a empalmar.

Figura 14

Acondicionamiento del área para el proceso de vulcanizado en caliente de fajas transportadoras textiles



Nota: Tomado de NILOS, 2023. “Instrucciones de trabajo para el empalme de bandas textiles mediante un proceso en caliente”.

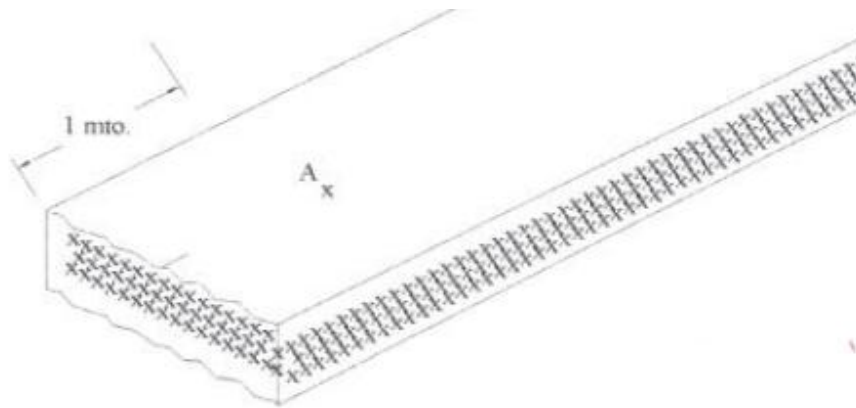
b. Alineamiento y puntos centros de la zona de empalme

Luego se procede al alineamiento de la faja transportadora y la ubicación de los “puntos centros” de la zona del empalme. Se realizan los siguientes pasos:

- i. Se debe medir el ancho de la faja transportadora, luego a una distancia de 1 metro del extremo de la faja ubicar un punto medio dentro del ancho de la faja denominado “A”.

Figura 15

Ubicación del primer punto para trazar la Línea Maestra

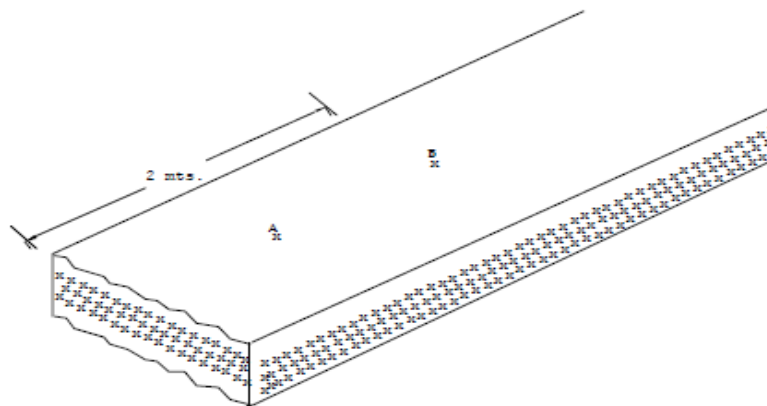


Nota: Tomado de Goodyear 1993, Manual de instrucciones para los empalmes vulcanizados.

- ii. A una distancia de 2 metros del extremo de la faja, ubicar el punto medio del ancho de la faja denominado “B”.

Figura 16

Ubicación del segundo punto para trazar la Línea Maestra

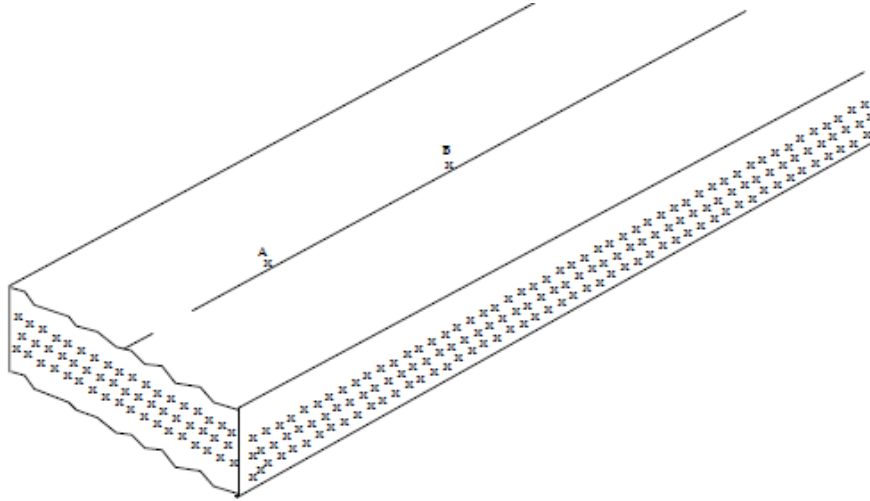


Nota: Tomado de Goodyear 1993, Manual de instrucciones para los empalmes vulcanizados.

- iii. Utilizar una escuadra grande con la finalidad de unir ambos puntos, para obtener la “Línea Maestra”.

Figura 17

Trazado de la Línea Maestra

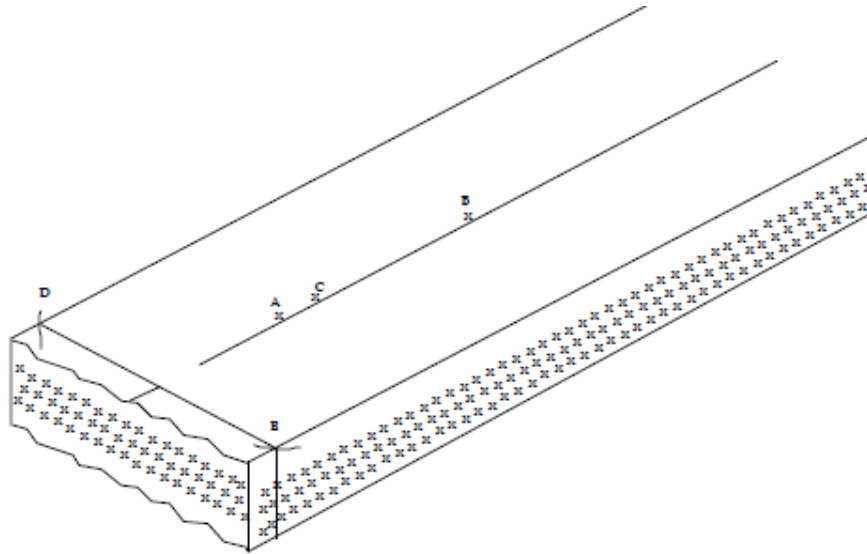


Nota: Tomado de Goodyear 1993, Manual de instrucciones para los empalmes vulcanizados.

- iv. A lo largo de la Línea Maestra, ubicar entre A y B un punto cualquiera denominado “C”. Desde el punto C se debe trazar un arco que coincida con los extremos de la orilla de la faja. Los puntos de corte de la faja con el arco se denominarán “D” y “E”. La unión de estos puntos D y E mediante una línea recta, forma una línea perpendicular a la Línea Maestra. La línea DE servirá como línea base para iniciar el trazado del área de escalonamiento de los steps, con un ángulo de 22° (Goodyear, Manual de instrucciones para los empalmes vulcanizados).

Figura 18

Trazado de línea DE perpendicular a la Línea Maestra

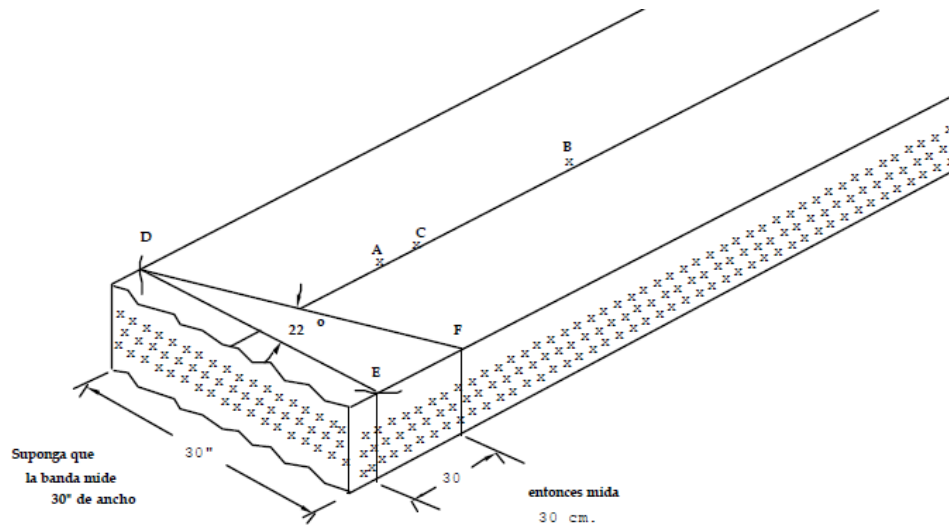


Nota: Tomado de Goodyear 1993, Manual de instrucciones para los empalmes vulcanizados.

- v. Para determinar el ángulo de 22° , se recomienda dos procedimientos:
- Medir el ancho de la faja transportadora expresado en pulgadas y multiplicar por 0.4 al valor, el resultado obtenido (en pulgadas) se traslada de manera longitudinal desde D o E y donde finaliza se halla el punto "F". Al unir F con el punto contrario al otro extremo de la faja (puede ser D o E depende de cuál se utilizó para la ubicación del punto F) transportada con una línea recta se obtiene el ángulo de 22° .
 - Un método más práctico es medir el ancho de la faja transportadora expresado en pulgadas y ese mismo valor se traslada en centímetros. Se mide este valor en centímetros desde uno de los puntos D o E desde la orilla y ubicar el punto "F". Al unir F con el punto contrario al otro extremo de la faja transportada con una línea recta se obtiene el ángulo de 22° (Goodyear, Manual de instrucciones para los empalmes vulcanizados).

Figura 19

Trazado de línea DF con ángulo de 22°

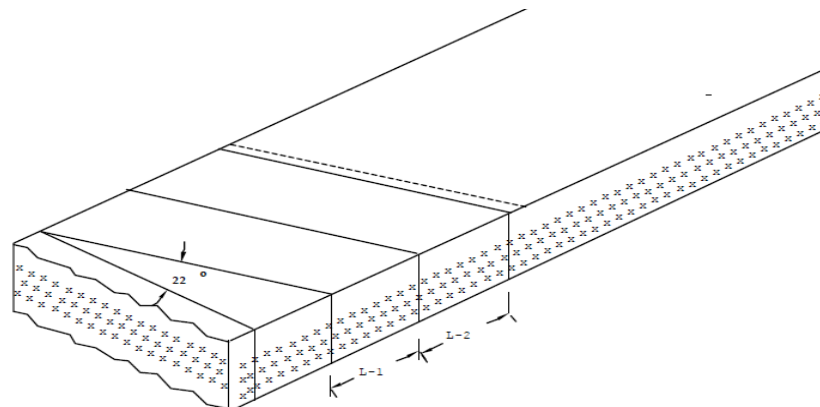


Nota: Tomado de Goodyear 1993, Manual de instrucciones para los empalmes vulcanizados.

- vi. Trazar los escalones (steps). De acuerdo al manual del fabricante y coincidentemente con la tabla de la Norma DIN 220102, especifican que para una faja textil 1600/4, el número de escalones serán 3 y la longitud de cada escalón será 400 mm. Los escales se trazarán de manera paralela a la línea con ángulo de 22° .

Figura 20

Trazado de los escalones o steps para el proceso de vulcanizado en caliente

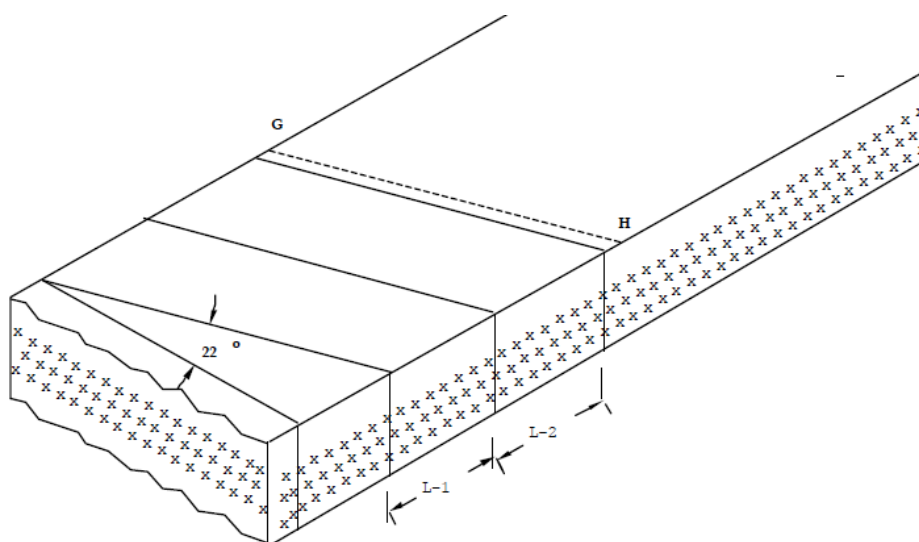


Nota: Tomado de Goodyear 1993, Manual de instrucciones para los empalmes vulcanizados.

- vii. Luego de trazar los escalones, se traza la línea GH que significa el cierre del empalme vulcanizado, la distancia de ubicación de esta línea es de acuerdo al tipo de aplicación que tendrá la faja transportadora.

Figura 21

Medición de la línea de cierre del empalme vulcanizado de acuerdo con la aplicación de la faja



Nota: Tomado de Goodyear 1993, Manual de instrucciones para los empalmes vulcanizados.

Tabla 18

Longitud de cierre de empalme

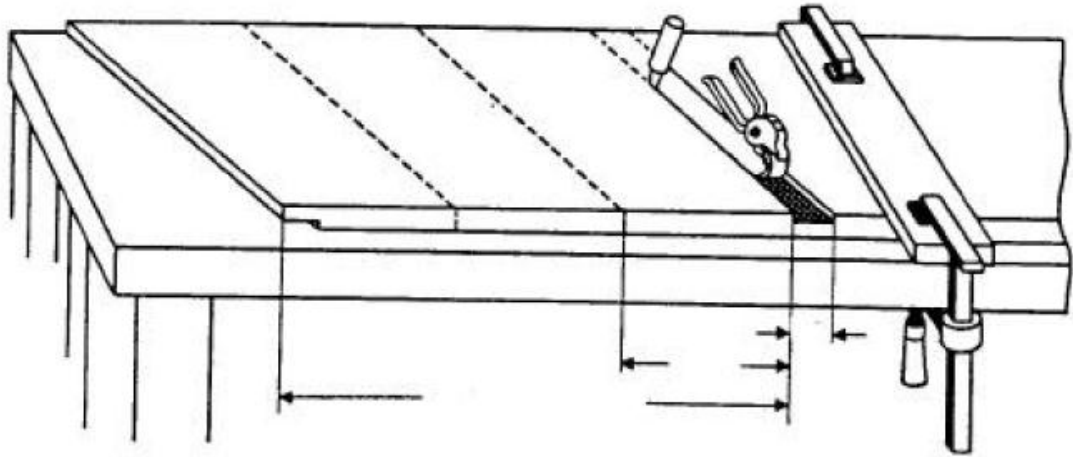
TIPO DE APLICACIÓN	LONGITUD DE CIERRE DEL EMPALME
Bandas para uso pesado	8 pulgadas
Bandas en general	2 a 4 pulgadas
Bandas para uso de alta temperatura	Cierre a traslape

Nota: Tomado de CONTITECH 2018, Manual de empalmes vulcanizados.

- viii. La línea de cierre del empalme se dibuja a partir de la última línea del área de escalonamiento y paralelo a la línea trazada con ángulo de inclinación de 22°.

Figura 22

Trazado de la línea de cierre de empalme en caliente en la capa superior de la faja transportadora

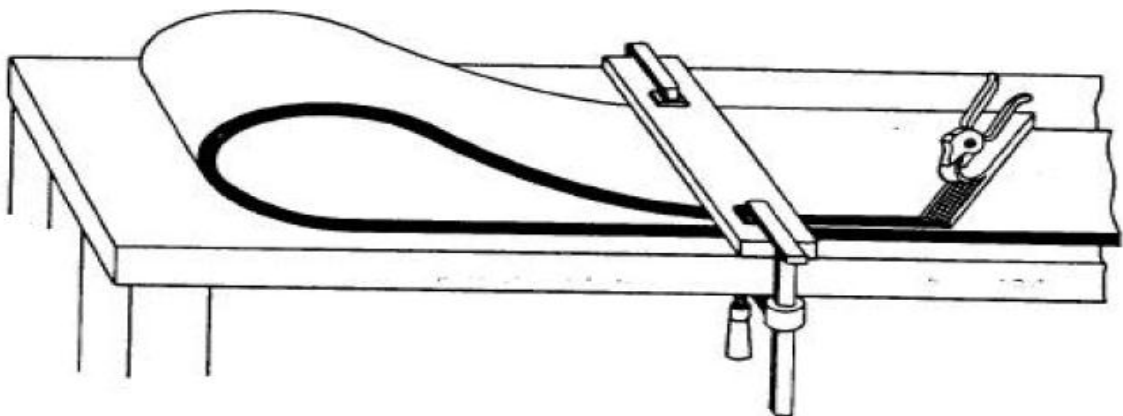


Nota: Tomado de Goodyear 1993, Manual de instrucciones para los empalmes vulcanizados.

- ix. El trazo de la línea de cierre con inclinación de 22° en la cubierta inferior de la faja (cover de retorno) se realiza a la misma distancia que se realizó en la cubierta superior, la única diferencia es que esta línea se traza respecto del extremo de la faja.

Figura 23

Trazado de la línea de cierre de empalme en caliente en la capa inferior de la faja transportadora



Nota: Tomado de Goodyear 1993, Manual de instrucciones para los empalmes vulcanizados.

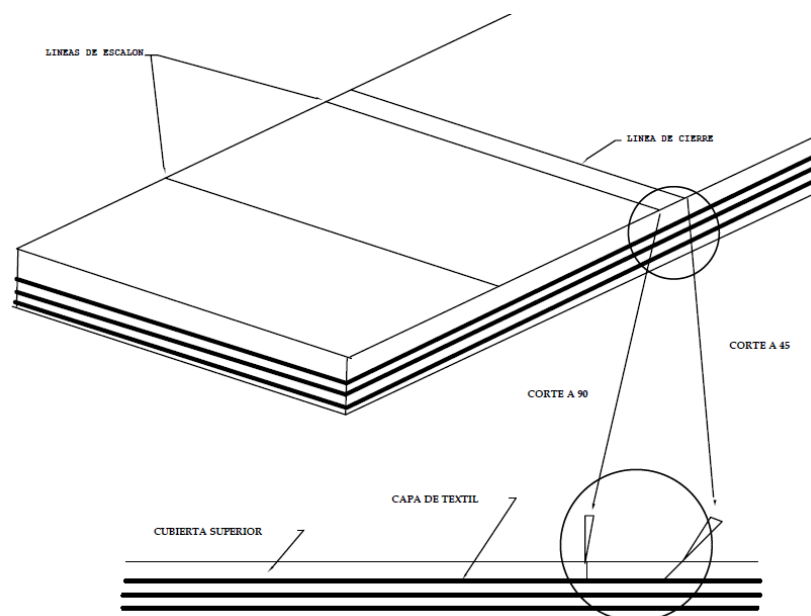
- x. Todos los pasos anteriores se repiten en el otro extremo de la faja transportadora (otra punta de la faja).

c. Cortes de las áreas trazadas

- i. El primer corte se realiza a partir de la línea de cierre del empalme a un ángulo de 45° y el segundo corte se realiza en la última línea de escalón a un ángulo de 90° y se cortará solamente la primera capa superior de la faja transportadora textil sin cortar o dañar la primera capa textil.

Figura 24

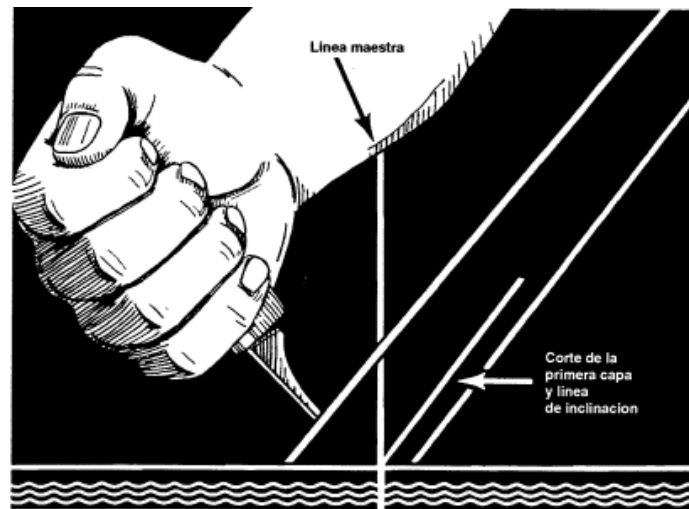
Corte de la zona de cierre de empalme vulcanizado en caliente



Nota: Tomado de Goodyear 1993, Manual de instrucciones para los empalmes vulcanizados.

Figura 25

Corte de la primera capa de caucho con línea de inclinación del empalme vulcanizado en caliente

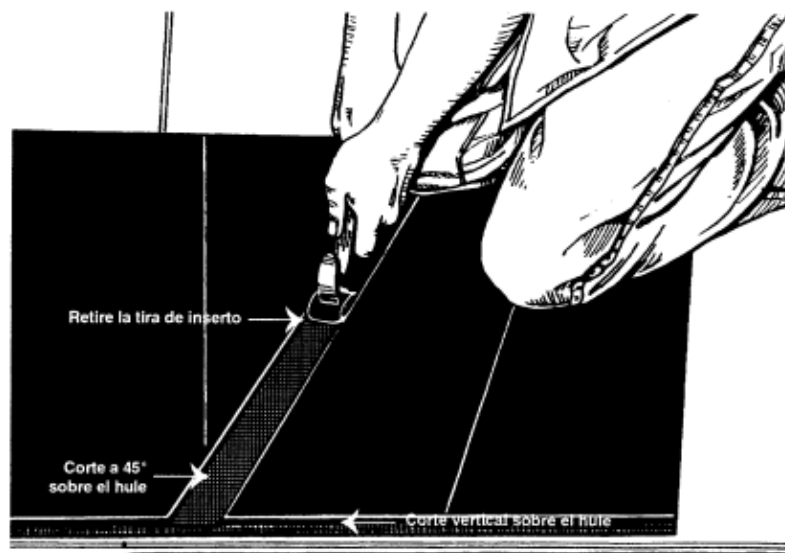


Nota: Tomado de Goodyear 1993, Manual de instrucciones para los empalmes vulcanizados.

- ii. Se procede a retirar con cuidado la tira de caucho que está limitada por la línea de cierre del empalme vulcanizado y la última línea escalón trazada.

Figura 26

Retiro de la tira superior de caucho de la zona de cierre del empalme vulcanizado en caliente

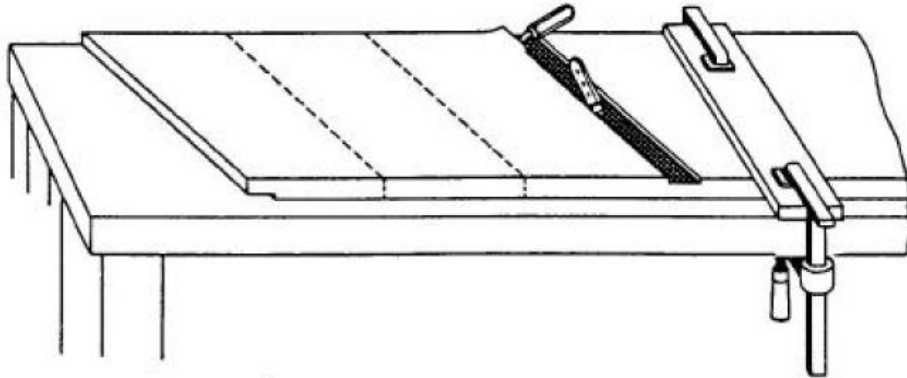


Nota: Tomado de Goodyear 1993, Manual de instrucciones para los empalmes vulcanizados.

- iii. El siguiente corte se realiza dentro de la zona del primer escalón trazado, en la última línea del escalón realizar nuevamente un corte con la cuchilla en ángulo de 90° hasta la segunda capa textil.

Figura 27

Corte de la primera capa de caucho con la primera capa textil de la faja transportadora en la zona escalón

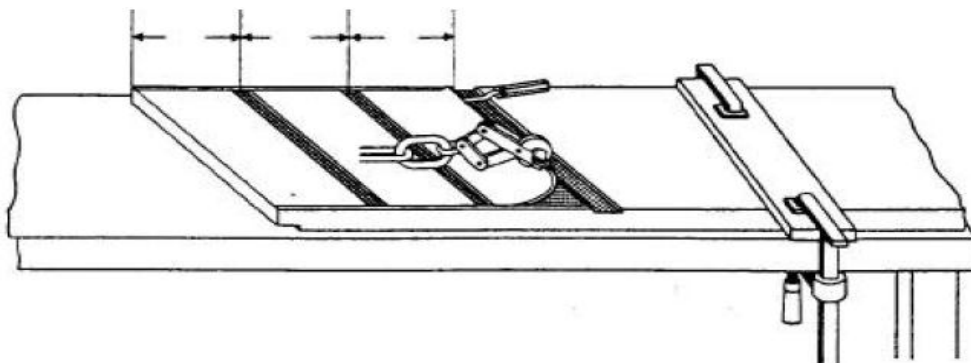


Nota: Tomado de Goodyear 1993, Manual de instrucciones para los empalmes vulcanizados.

- iv. Se procede a retirar el caucho de la parte superior de la faja transportadora incluyendo la primera capa textil. Considerando el cuidado respectivo de la segunda capa textil.

Figura 28

Retiro de la primera capa de caucho con la primera capa textil de la faja transportadora en la zona escalón

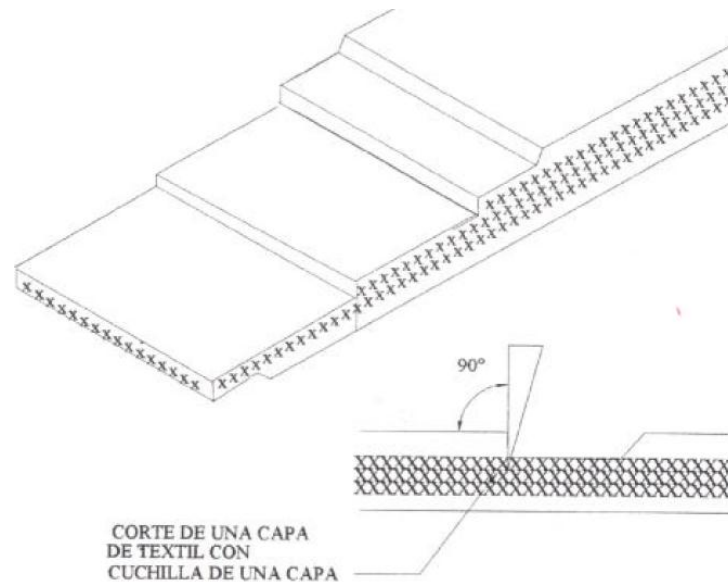


Nota: Tomado de Goodyear 1993, Manual de instrucciones para los empalmes vulcanizados.

- v. Luego cortar la zona del primer escalón trazado, ambas líneas que forman este escalón serán cortadas a un ángulo de 90° hasta el límite con la tercera capa textil sin dañarla.

Figura 29

Corte de la segunda capa de caucho con la segunda capa textil de la faja transportadora en la zona escalón

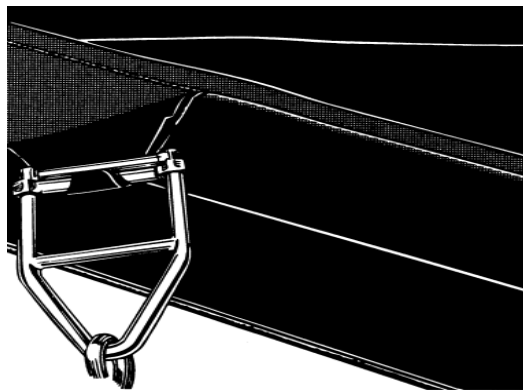


Nota: Tomado de Goodyear 1993, Manual de instrucciones para los empalmes vulcanizados.

- vi. Se procede a retirar el caucho de la parte superior de la faja transportadora incluyendo la primera y la segunda capa textil. Considerando el respectivo cuidado de la tercera capa textil.

Figura 30

Retiro de la segunda capa de caucho con la segunda capa textil de la faja transportadora en la zona escalón

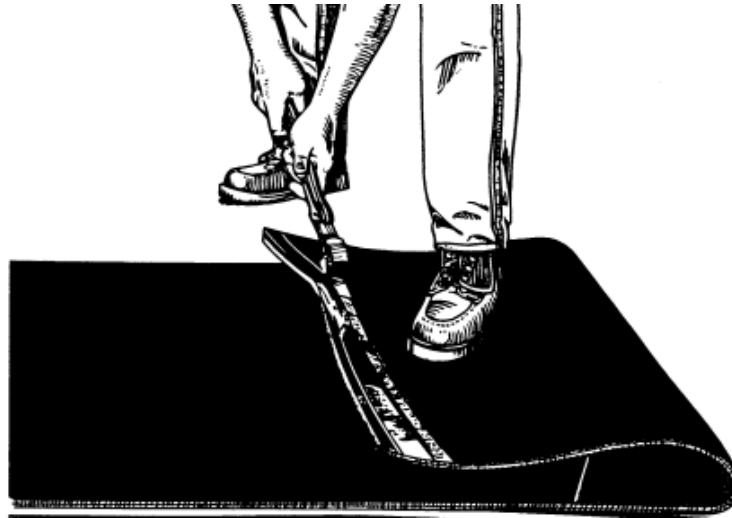


Nota: Tomado de Goodyear 1993, Manual de instrucciones para los empalmes vulcanizados.

- vii. Por último, dar la vuelta a ese extremo de la faja transportadora que se estaba trabajando para poder cortar y retirar el pedazo de caucho que corresponde a la zona de cierre del empalme en la capa inferior de la faja transportadora.

Figura 31

Retiro de la tira inferior de caucho de la zona de cierre del empalme vulcanizado en caliente



Nota: Tomado de Goodyear 1993, Manual de instrucciones para los empalmes vulcanizados.

- viii. Repetir los mismos cortes en el otro extremo de la faja transportadora textil, considerando que se debe cortar en sentido contrario y se debe empezar por el cover opuesto con el que se inició en el otro extremo.

Figura 32

Cortes de ambos extremos de la faja transportadora textil



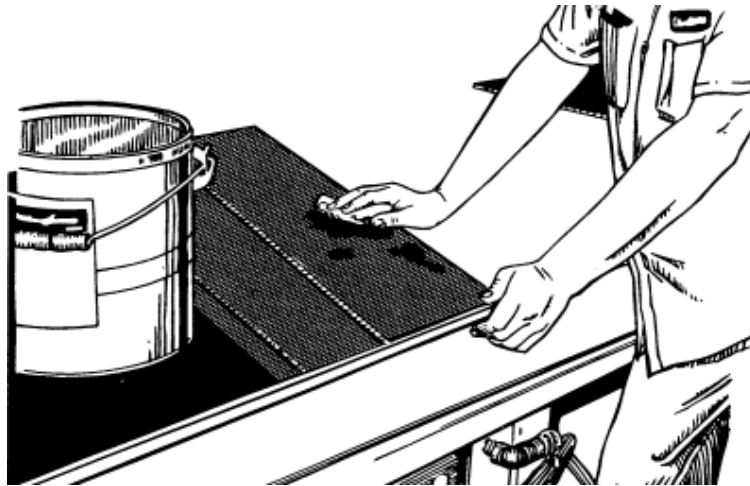
Nota: Tomado de la Unidad Minera Antamina.

d. Aplicación del kit de empalme vulcanizado en caliente

- i. Antes de aplicar el cemento vulcanizante en la zona que se realizó los cortes, se debe limpiar la zona de empalme con ayuda de una escobilla y el esmeril recto con la copa de tungsteno para pulir levemente el área a empalmar sin dañar las capas textiles visibles en la faja transportadora cortada.

Figura 33

Limpia de la superficie de la faja transportadora que será la zona de empalme vulcanizado en caliente

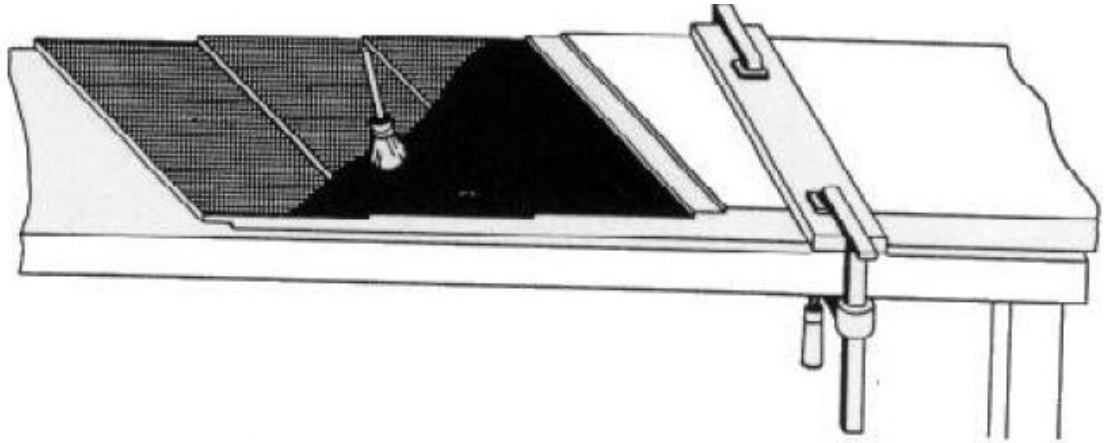


Nota: Tomado de Goodyear 1993, Manual de instrucciones para los empalmes vulcanizados.

- ii. Aplicar el cemento vulcanizante con ayuda de una brocha circular, el sentido de aplicación es de arriba hacia abajo, es decir que se debe comenzar por las capas superiores y dirigir la broca hacia las capas inferiores de la faja transportadora textil. El cemento deberá esparcirse de manera uniforme y en cantidades relativamente pocas, dejar secar aproximadamente 10 minutos.

Figura 34

Aplicación de la primera capa de cemento vulcanizante sobre zona de empalme

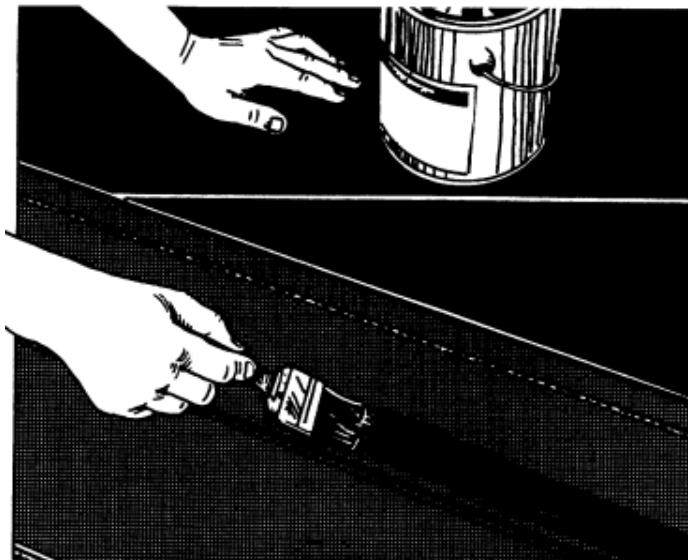


Nota: Tomado de Goodyear 1993, Manual de instrucciones para los empalmes vulcanizados.

- iii. Luego de los 10 minutos de secado, volver a aplicar una segunda capa del cemento vulcanizante y dejar secar nuevamente por 10 minutos.

Figura 35

Aplicación de la segunda capa de cemento vulcanizante en la zona de empalme



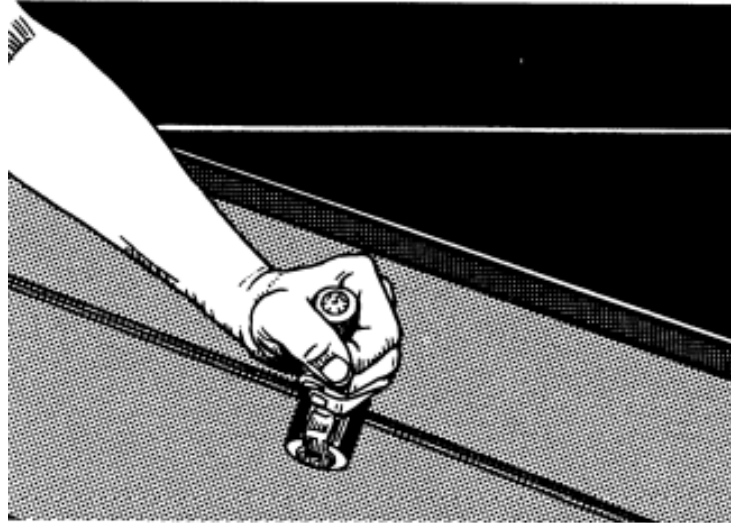
Nota: Tomado de Goodyear 1993, Manual de instrucciones para los empalmes vulcanizados.

- iv. Finalmente colocar la goma cojín y el caucho de cubierta sobre la superficie de la faja transportadora textil con cemento vulcanizante, con la ayuda del rodillo

aplanar la superficie de la goma cojín empezando del escalón superior con dirección hacia el escalón inferior.

Figura 36

Aplanado de la goma cojín con ayuda del rodillo

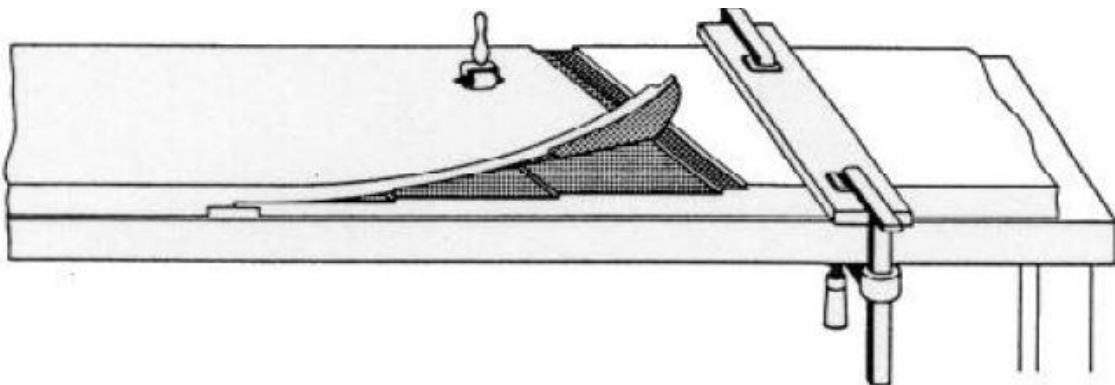


Nota: Tomado de Goodyear 1993, Manual de instrucciones para los empalmes vulcanizados.

- v. Luego de colocar la goma cojín en un extremo de la faja transportadora, el otro extremo libre y cortado alinear lentamente sobre la goma cojín.

Figura 37

Alineamiento de ambos extremos de la faja transportadora textil en la zona del empalme



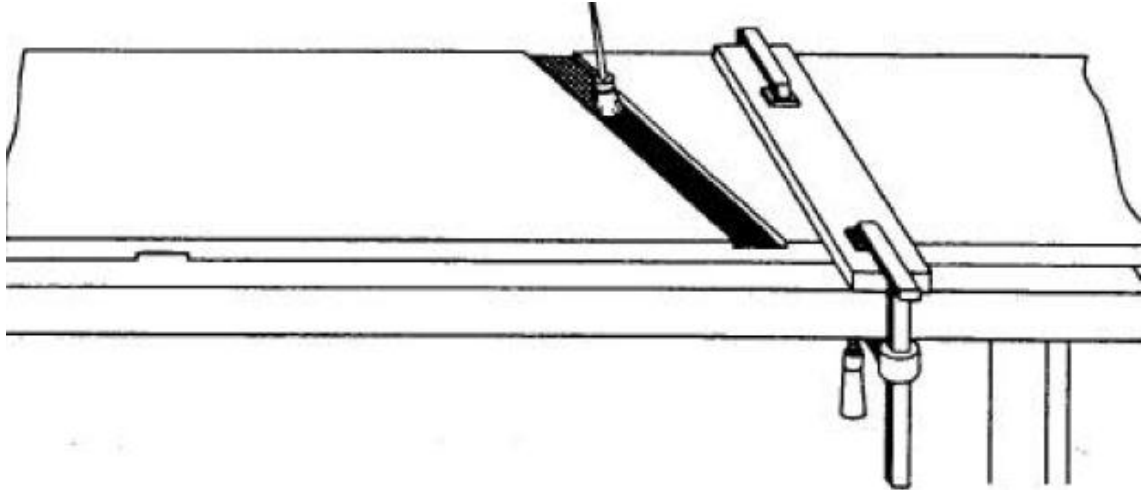
Nota: Tomado de Goodyear 1993, Manual de instrucciones para los empalmes vulcanizados.

- vi. Aplicar cemento vulcanizante en las zonas de cierre del empalme y colocar la tira de caucho extraída anteriormente, en la parte superior e inferior de la faja

transportadora. De esta manera queda cerrado el empalme vulcanizado en caliente.

Figura 38

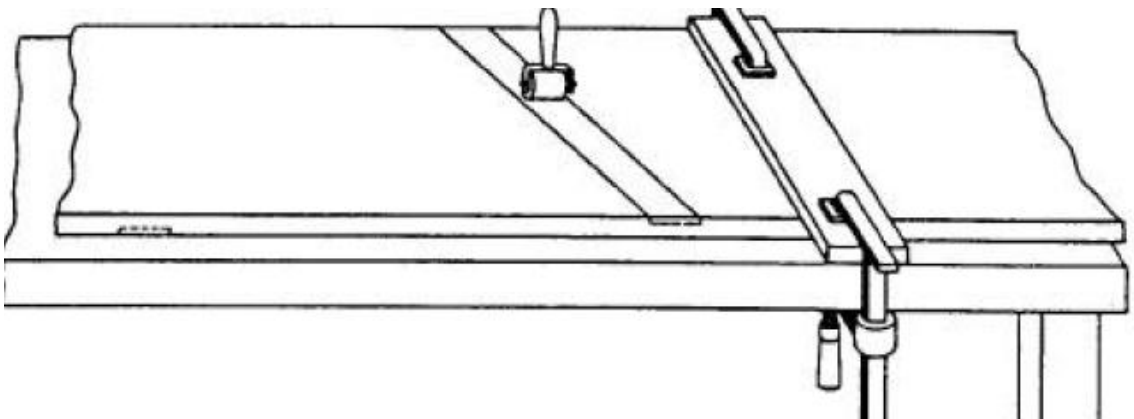
Aplicación de cemento vulcanizante en la zona de cierre del empalme vulcanizado



Nota: Tomado de Goodyear 1993, Manual de instrucciones para los empalmes vulcanizados.

Figura 39

Pegado de tiras de caucho en la zona de cierre del empalme vulcanizado



Nota: Tomado de Goodyear 1993, Manual de instrucciones para los empalmes vulcanizados.

- vii. Se recomienda colocar tela vulcatrux en la parte superior como inferior de la faja transportadora, justo antes de colocar los equipos vulcanizantes, para un mejor acabado a la superficie de la faja transportadora textil.

Figura 40

Colocación de tela vulcatrrix en la parte inferior de la zona de empalme vulcanizado en caliente



Nota: Tomado de la Unidad Minera Antamina.

Figura 41

Colocación de tela vulcatrrix en la parte superior de la zona de empalme vulcanizado en caliente



Nota: Tomado de la Unidad Minera Antamina.

e. Proceso de vulcanizado en caliente de la faja transportadora textil

- i. El proceso de vulcanizado en caliente de la faja textil inicia con el cierre de la prensa y equipos vulcanizantes. Anteriormente se había armado la parte inferior de la prensa y equipos como un soporte para tener una mesa de

trabajo alineada. Se procederá a culminar el armado en la parte superior. Se procede a colocar sobre la tela vulcatrux el plato calefactor superior, la bolsa de presión superior y la placa protectora superior, en ese orden mencionado.

Figura 42

Armado de la prensa superior y colocación de equipos para el vulcanizado en caliente



Nota: Tomado de la Unidad Minera Antamina.

- ii. Luego se debe colocar los rieles superiores y anclarlos a los rieles inferiores con sus pernos correspondientes para asegurar la presión sobre la zona de empalme vulcanizado en caliente de la faja transportadora textil.

Figura 43

Colocación de pernos para el ajuste de los rieles superiores con los inferiores

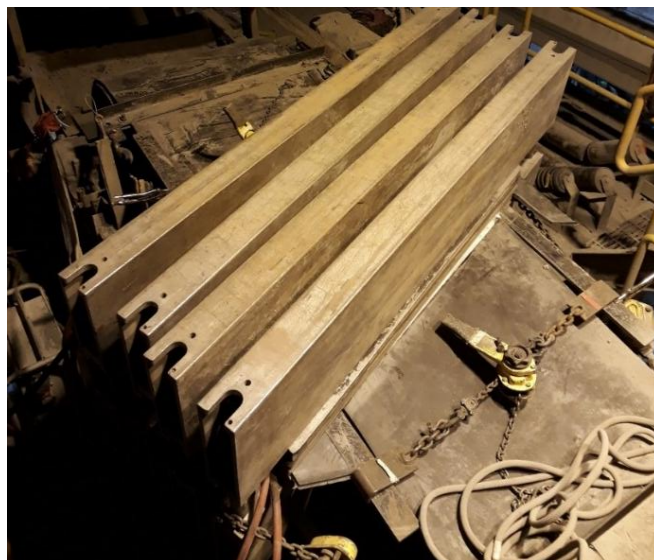


Nota: Tomado de la Unidad Minera Antamina.

- iii. Se procede a colocar unas platinas moldeadoras a ambos extremos de la zona de empalme vulcanizado para asegurar el moldeo en la zona de empalme.

Figura 44

Colocación de platinas moldeadoras a los costados de la faja transportadoras y sujetadas mediante un tecla tipo ratchet



Nota: Tomado de la Unidad Minera Antamina.

- iv. Se efectúan las conexiones eléctricas de los platos vulcanizadores a la caja de control eléctrica para suministrar la temperatura correspondiente.

Figura 45

Conexión de los platos vulcanizadores a la caja de control eléctrica

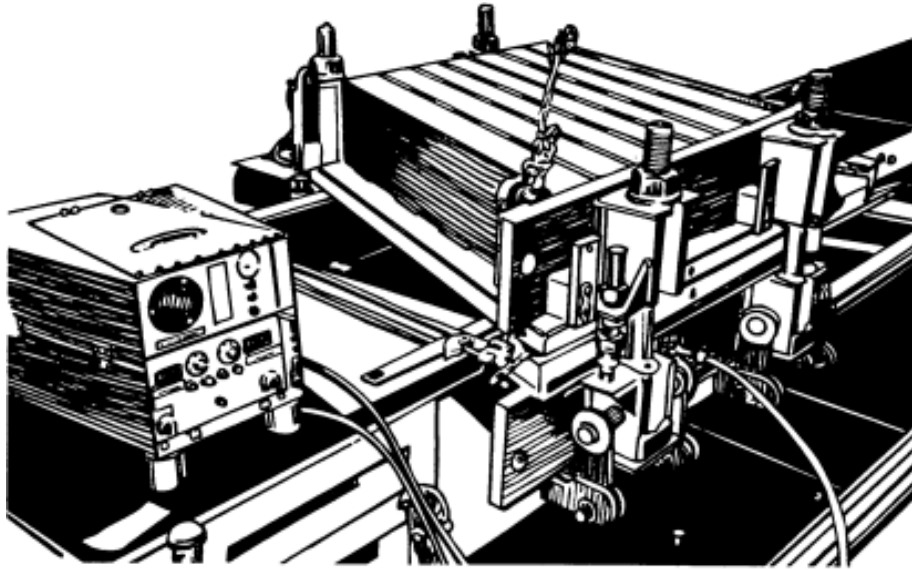


Nota: Tomado de la Unidad Minera Antamina.

- v. Se procede a conectar las bolsas de presión (vejigas) a la bomba de agua para alcanzar una presión adecuada al momento del vulcanizado.
- vi. Realizada todas las conexiones, inspeccionar que estén completas y aseguradas; se procede con el suministro de agua a las bolsas de presión y el calentamiento de los platos calefactores de manera uniforme.

Figura 46

Culminado de armado de la prensa y equipos vulcanizadores



Nota: Tomado de Goodyear 1993, Manual de instrucciones para los empalmes vulcanizados.

- vii. Calentar los platos calefactores hasta una temperatura de 145 °C con el soporte de la caja de control eléctrica (Goodyear, s.f.), que es la temperatura a la cual se vulcanizará la faja transportadora textil. El tiempo que durará el vulcanizado a una temperatura de 145°C aproximadamente va a depender exclusivamente del espesor de la faja. Según Good Year en su manual de empalmes vulcanizados indica que el tiempo es calculado de la siguiente manera: 3 minutos por cada 1 mm de espesor de la faja transportadora.

Figura 47

Proceso de calentamiento de los platos vulcanizadores a una temperatura de 145°C (\pm 5°C)



Nota: Tomado de la Unidad Minera Antamina.

- viii. La presión con la que se irá suministrando agua a las bolsas de presión es de 4 bar (Goodyear, “Manual de instrucciones para los empalmes vulcanizados”), una vez que las placas calefactoras alcancen la temperatura de 145 °C, la presión deberá mantenerse constante y uniforme a 8 bar durante todo el tiempo que durará el vulcanizado de la faja transportadora.

Figura 48

Regulación del manómetro de la bomba a 8 bar durante el proceso de vulcanizado en caliente de la faja transportadora textil



Nota: Tomado de la Unidad Minera Antamina.

- ix. Luego de la culminación el tiempo de vulcanización de acuerdo al espesor de la faja, se realiza el proceso de enfriamiento de los platos vulcanizadores hasta una temperatura de 45 °C (Goodyear, s.f.).

Figura 49

Enfriamiento de los platos vulcanizadores hasta la temperatura de 45°C ($\pm 5^{\circ}\text{C}$)



Nota: Tomado de la Unidad Minera Antamina.

- x. Al término del proceso de enfriamiento, se procede a desconectar los platos vulcanizadores de la caja de control eléctrica, se desconecta las bolsas de presión de la bomba de agua. El desmontaje de todos los equipos se realiza con cautela y de manera ordenada.

3.5. Ensayo de tracción en muestra de faja transportadora

Para la preparación de las muestras:

Se cortan muestras de correas transportadoras empalmadas mediante vulcanización de acuerdo con las especificaciones de la norma TS EN ISO 283. Las muestras deben tener dimensiones y características específicas para el ensayo. Para este estudio se presentaron las siguientes características.

Tabla 19
Datos de entrada para la validación de la faja transportadora

Nro. de muestras		CARACTERISTICAS	
MUESTRA	3	Espesor	31 mm
		Material	Caucho y nylon. (EP)
		Tipo	Faja transportadora textil
		Uso	Transporte de minerales
		Marca	GOOD YEAR
		Fabricante	GOOD YEAR
		Procedencia	Americana (EE. UU)

Nota: Tomado del Laboratorio N°4 facultad de Ingeniería Mecánica, 2024.

Montaje en el dispositivo de ensayo:

Las muestras preparadas se colocaron en un dispositivo de ensayo de tracción que cumpla con los requisitos de la norma, en este caso se usó una maquina universal de ensayos mecánicos, marca LG, capacidad 60 Ton.

Aplicación de la fuerza de tracción:

Se aplicó una fuerza de tracción continua y uniforme a las muestras de correas empalmadas.

Registro de la fuerza máxima:

Durante el ensayo, se registraron las fuerzas máximas aplicadas a las muestras antes de que ocurra la ruptura. Esta fuerza máxima suministro información sobre la resistencia a la tracción de las correas empalmadas, como se muestra a continuación.

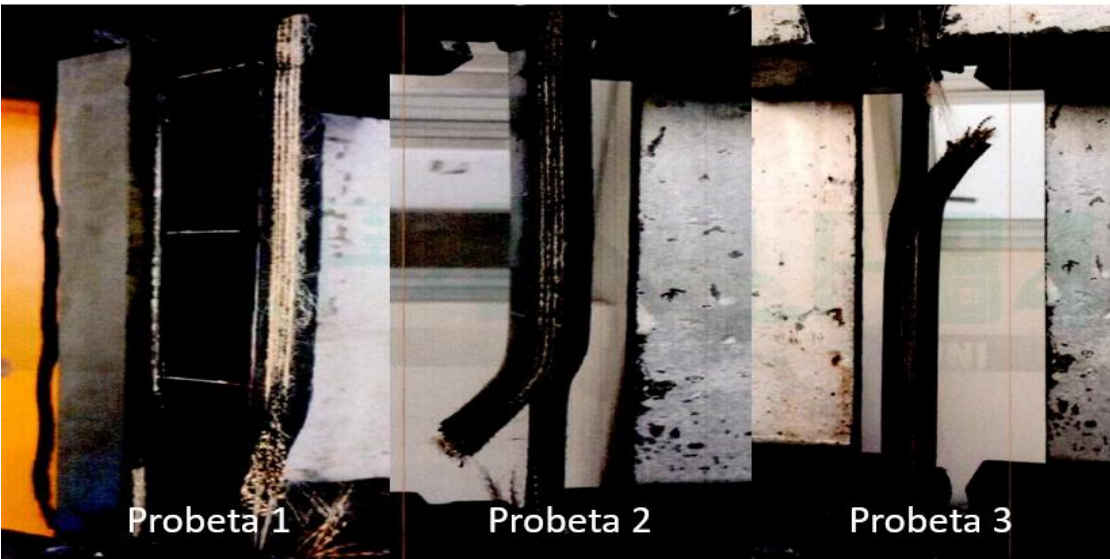
Tabla 20
Ensayo de tracción

Probeta	Diámetro (mm)	Área (mm ²)	Longitud inicial (mm)	Longitud final (mm)	Fuerza máxima kN (kgf)	Esfuerzo máximo MPa (kgf/mm ²)	Elongación
1	12.5	25	102	108	13.83 (1410)	553.1 (56.4)	5.88
2	12.5	25	102	111.4	13.93 (1420)	557.02 (56.8)	9.22
3	12.5	25	102	117	17.75 (1810)	710 (72.4)	14.71

Nota: Tomado del Laboratorio N°4 facultad de Ingeniería Mecánica, 2024.

De la misma manera se muestran en la siguiente imagen las probetas luego del ensayo a tracción.

Figura 50
Probetas luego del ensayo a la tracción



Nota: Tomado del Laboratorio N°4 facultad de Ingeniería Mecánica, 2024.

Estos datos se pueden verificar en el **Anexo 3** del presente informe

Capítulo IV. Resultados, contratación de hipótesis y discusión de resultados

Se realizó una comparación entre los datos obtenidos en la Tabla 12 “Tensiones de operación y arranque en la polea motriz” con los datos de la Tabla 3 “Datos de entrada para la validación de la faja transportadora” y se obtiene el siguiente cuadro comparativo:

Tabla 21

Cuadro comparativo entre resultados obtenidos y resultados de diseño

Resultados obtenidos		Resultados de diseño	
T₁	9963,76 lbf	T₁	17171 lbf
T₂	2833,51 lbf	T₂	9190 lbf
PIW	166,06 lbf/pulg	PIW	286 lbf/pulg

Se observa que los resultados obtenidos son valores menores en comparación con los resultados de diseño de la faja transportadora textil. Esto significa que el dimensionamiento y las condiciones de la operación no representan un problema durante el funcionamiento de la faja sometida a estudio.

Debido a que en la actualidad no existe una expresión matemática que pueda analizar la resistencia a la rotura de una faja transportadora textil luego de realizar el empalme vulcanizado en caliente, se procedió a realizar un ensayo de tracción en el laboratorio con la finalidad de determinar la fuerza máxima que soporta antes de romperse dicha faja y poder realizar una comparación con la carga mínima de rotura de la faja transportadora nueva entregada por el fabricante.

El ensayo de tracción se efectuó en el Laboratorio N°4 de Ingeniería Mecánica en la Facultad de Ingeniería Mecánica, en la Universidad Nacional de Ingeniería. Se efectuó el ensayo de acuerdo a la norma ISO 283.

Se obtuvieron los siguientes gráficos como resultado del ensayo de tracción a la faja transportadora:

Figura 51

Resultado de longitud inicial y final de las probetas sometidas a ensayo de tracción

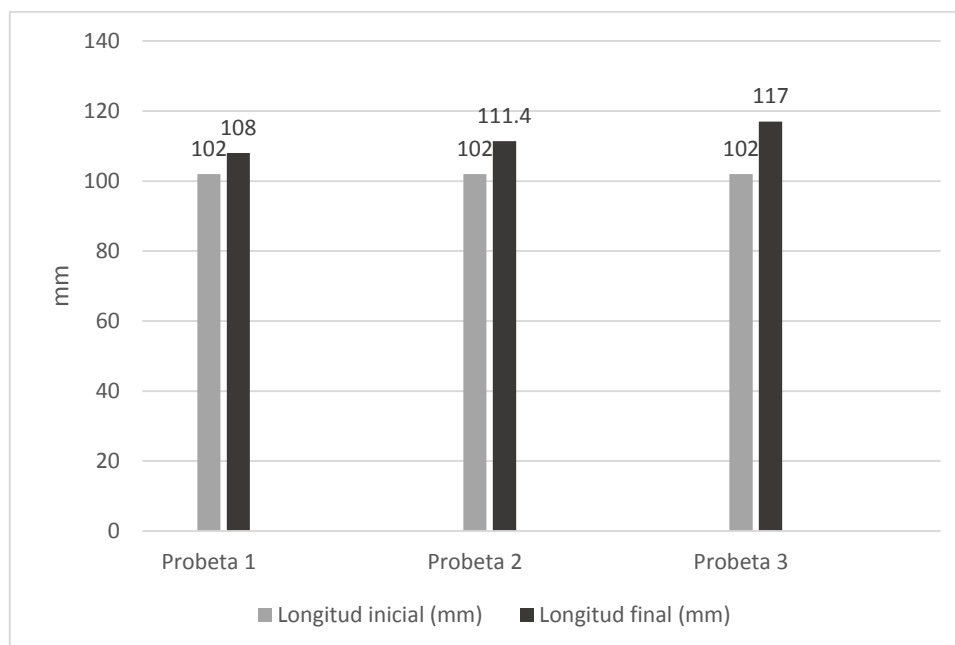


Figura 52

Resultado de elongación de las probetas sometidas a ensayo de tracción

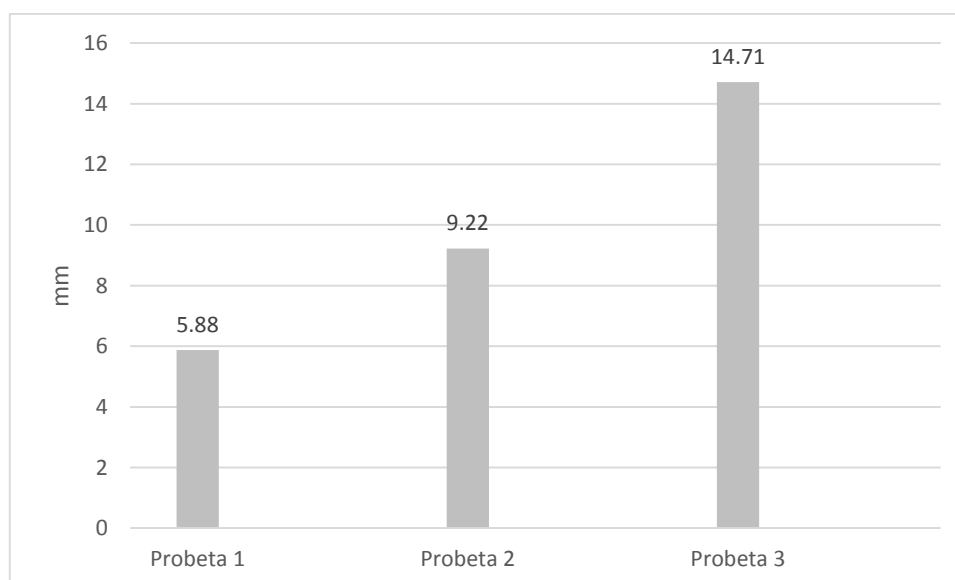
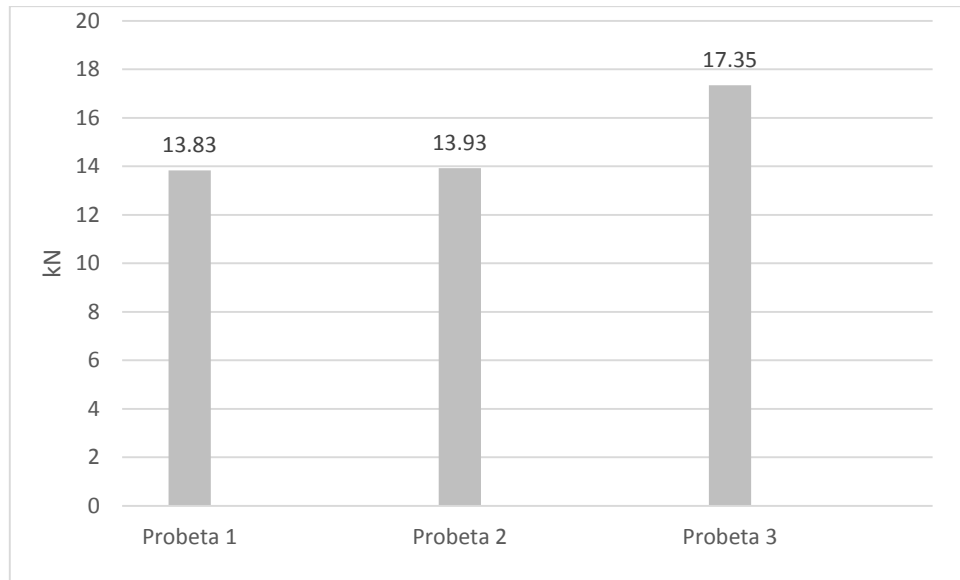


Figura 53

Resultado de fuerza máxima de las probetas sometidas a ensayo de tracción



Se obtuvieron 3 resultados debido a que la norma ISO 283 establece que el ensayo de tracción se debe realizar con 3 probetas, y realizar la media aritmética dividiendo la fuerza máxima entre el diámetro de la probeta.

La media aritmética de la fuerza máxima de acuerdo a la gráfica 53 es:

$$MA = \frac{13,83 \text{ kN} + 13,93 \text{ kN} + 17,75 \text{ kN}}{3} = 15,17 \text{ kN}$$

Luego se calcula la tensión admisible que soportará la faja transportadora como máximo luego de la influencia del empalme vulcanizado en caliente:

$$PIW = \frac{15,17 \text{ kN}}{12,50 \text{ mm}} = \frac{3410,35 \text{ lbf}}{0,49 \text{ pulg}}$$
$$PIW = 1213,60 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 6931,61 \frac{\text{lbf}}{\text{pulg}}$$

Se realiza la comparación entre el PIW obtenido de la faja transportadora luego de vulcanizar y el PIW de la faja transportadora nueva:

Tabla 22

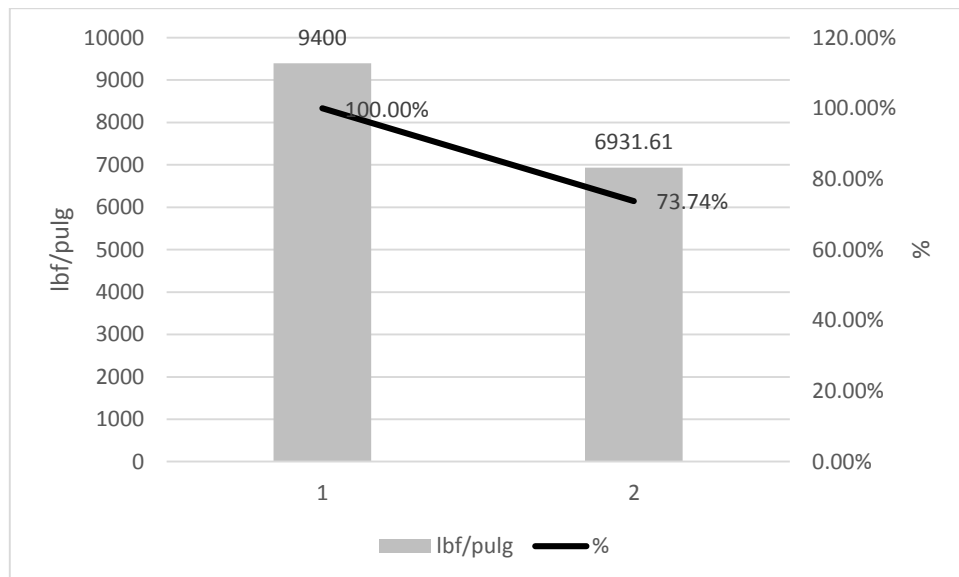
Comparación entre el PIW de la faja luego de vulcanizar y el PIW de la faja nueva

Faja luego del proceso de vulcanizado en caliente		Faja transportadora nueva	
PIW	6931,61 lbf/pulg	PIW	9400 lbf/pulg

Se observa que la tensión admisible de rotura de la correa disminuyó de 9400 lbf/pulg a 6931,61 lbf/pulg.

Figura 54

Variación de la tensión admisible



Con los valores de las tensiones admisibles de rotura de ambas fajas transportadoras textiles se calcula la carga de rotura (fuerza de tracción de ambas fajas en lbf) de la siguiente manera:

$$PIW_{rotura} = \frac{T_{rotura}}{B} \quad (38)$$

Donde:

T_{rotura} : Tensión lado carga de polea motriz durante operación en lbf.

B: Ancho de la faja transportadora, B = 60 pulg.

Para la faja transportadora nueva:

$$9400 \frac{lbf}{pulg} = \frac{T_{rotura}}{60 pulg}$$

$$T_{rotura} = 564\,000 \text{ lbf}$$

Para la faja transportadora vulcanizada en caliente:

$$6931,61 \frac{lbf}{pulg} = \frac{T_{rotura}}{60 pulg}$$

$$T_{rotura} = 415\,896,6 \text{ lbf}$$

Tabla 23

Comparación entre la carga de rotura de la faja luego de vulcanizar y la carga de rotura de la faja nueva.

Faja luego del proceso de vulcanizado en caliente		Faja transportadora nueva	
T rotura	415 896.6 lbf	T rotura	564 000 lbf

Se observa que carga de rotura de la correa disminuyó de 564 000 lbf a 415 896.6 lbf.

El valor inicial de la tensión admisible de rotura disminuyó en un 26,26 % respecto del valor final. Esto se traduce como la disminución de la resistencia a la rotura en un 26,26 % de la faja transportadora vulcanizada en caliente en comparación con la faja transportadora nueva sin vulcanizar.

Con los resultados obtenidos a partir de las condiciones de operación de la faja transportadora textil (tensión admisible de operación) y el proceso de vulcanizado en caliente de la faja transportadora textil (tensión máxima que soporta la faja antes de la rotura) se observa una disminución del 41,93% de la tensión admisible de operación en comparación con la tensión admisible de diseño. Asimismo, la tensión admisible que soporta la faja transportadora vulcanizada antes de la rotura disminuyó en un 26,26 %

respecto de la tensión admisible de la faja transportadora sin vulcanizar. Con estos valores se evidencia que la faja transportadora textil está correctamente dimensionada y opera dentro de los parámetros adecuados; además, el empalme vulcanizado en caliente es una técnica que ofrece una unión fuerte y confiable, preservando en gran porcentaje la resistencia de rotura de la faja transportadora textil.

Se observa un cuadro comparativo de costos del servicio del vulcanizado en caliente versus el vulcanizado en frío:

Tabla 24

Costos comparativos entre los servicios de los empalmes vulcanizado en frío y vulcanizado en caliente para la faja sometida a estudio.

Tipo de empalme	Descripción	Costo
Empalme vulcanizado en caliente	• Mano de Obra	\$ 4300
	• Kit de empalme vulcanizado en caliente	
	• Equipos y herramientas	
	• Gastos de alimentación	
	• Gastos de alojamiento	
	• Gastos de viaje	
Empalme vulcanizado en frío	• Mano de Obra	\$ 3400
	• Kit de empalme vulcanizado en frío	
	• Herramientas	
	• Gastos de alimentación	
	• Gastos de alojamiento	
	• Gastos de viaje	

A continuación, se presenta un cuadro con las diferentes fajas transportadoras que se sometieron a un empalme vulcanizado en caliente, la frecuencia con la cual se realiza esta técnica de vulcanizado en caliente y el costo del servicio:

Tabla 25*Empalmes vulcanizado en caliente de diferentes fajas transportadoras de minerales*

Tipo de faja transportadora	Descripción del servicio	Empresa	Fecha de realización	Monto (\$)
72" – EP 800/4(6+2) – 80 mts	Cambio de faja y vulcanizado de faja 01	Compañía Minera El Brocal S.A.	3/12/2017	9790
42" – EP 800/4(8+2) – 146 mts	Cambio de faja y vulcanizado de faja 10	Compañía Minera El Brocal S.A.	31/07/2018	6200
36" – ST2000 (10+6) – 3146 mts	Vulcanizado en frío faja overland 3	Compañía Minera El Brocal S.A.	16/11/2018	10 100
36" – ST2000 (10+6) – 3146 mts	Vulcanizado en caliente faja overland 3	Compañía Minera El Brocal S.A.	11/01/2019	15 200
48" – EP 800/4(6+3) – 30 mts	Ejecución de 2 empalmes vulcanizado faja 13	Compañía Minera El Brocal S.A.	6/02/2019	18 500
42" – EP 800/4(4+2)	Servicio de empalme en caliente de faja transportadora	Minera Yanacocha S.R.L.	29/01/2017	9810
72" – EP 2500/4(20+6)	Servicio de empalme en caliente de faja transportadora	Minera Yanacocha S.R.L.	18/06/2017	23 100
72" – EP 2500/4(20+6)	Servicio de empalme en caliente de faja transportadora	Minera Yanacocha S.R.L.	25/07/2019	25 100
24" – EP 800/3(6+2) – 60 mts	Servicio de montaje y empalme de faja transportadora	Minera Colquisiri S.A.C.	18/10/2018	6800
48" – EP 1000/5(9+4) – 106 mts	Servicio de cambio de faja y empalme en caliente	CIA. Minera Condestable S.A.	28/01/2021	5200
48" – EP 1000/4(10+3) – 55 mts	Servicio de cambio de faja y empalme en caliente	CIA. Minera Condestable S.A.	9/12/2021	4500
36"- EP 1000/5(10+3) – 85 mts	Servicio de cambio de faja y empalme en caliente	CIA. Minera Condestable S.A.	24/08/2021	3990
48" EP 2000/4(12+6) – 35 mts	Servicio de cambio de faja y empalme en caliente	Compañía Minera Antamina S.A.	22/12/2021	11 500
42" – EP 800/3(6+2) – 466 mts	Servicio de 2 empalmes vulcanizados en caliente	Compañía Minera Antamina S.A.	10/10/2021	19 450

42" – EP 1000/3(6+2) – 680 mts	Servicio de 2 empalmes vulcanizados en caliente	Compañía Minera Antamina S.A.	24/08/2021	19 800
72" – EP 1000/3(12+6) – 128 mts	Servicio de cambio de faja y empalme en caliente	Compañía Minera Antamina S.A.	12/12/2017	12 990

El análisis de los datos presentados en la tabla indica los servicios de empalme vulcanizado en caliente realizados por requerimiento en diversas empresas mineras. Observamos una variedad de tipos de fajas transportadoras, desde EP 800/4 hasta EP 2500/4, lo que indica una gama de exigencias de resistencia para el transporte de minerales.

Los empalmes se llevaron a cabo exitosamente, sin recibir ningún reclamo, y las fajas continúan operativas hasta la fecha actual.

Conclusiones

- Se evaluó el proceso para el empalme vulcanizado en caliente de fajas transportadoras de minerales con núcleo textil, para mitigar los riesgos asociados a fallos continuos en operación, de esa manera poder salvaguardar la integridad estructural y la durabilidad de la faja en la empresa minera.
- Se efectuó el procedimiento del empalme vulcanizado en caliente de fajas transportadoras de minerales con núcleo textil de acuerdo a la recomendación del fabricante de la faja transportadora y a la experiencia del personal técnico capacitado, para reducir el riesgo de falla en operación en una empresa minera.
- Se realizó el protocolo de trabajo para reducir los defectos del vulcanizado en caliente de las fajas transportadoras con núcleo textil en una empresa minera.
- El proceso de vulcanizado en caliente de fajas transportadoras de minerales con núcleo textil se ejecutó siguiendo las directrices de los manuales y normativas pertinentes. La preparación del área de trabajo, el trazado de las líneas de corte y la aplicación de los materiales vulcanizantes contribuyeron a reducir las brechas en los estándares de seguridad y calidad. Este enfoque garantizó la integridad del empalme y mejoró la seguridad operativa de la faja transportadora.
- Según el ensayo a tracción ISO 283, la correa empalmada por vulcanización muestra una tensión admisible de 6931,61 lbf/pulg, lo que supone una disminución del 26.26% en comparación con la correa nueva sin empalme (9400 lbf/pulg). Al comparar las fuerzas de tracción que pueden soportar ambas correas, la empalmada mantiene una resistencia adecuada para las condiciones de operación previstas, con una capacidad de 415,896.6 lbf frente a los 564,000 lbf de la correa nueva. En términos de costos, el empalme vulcanizado en caliente tiene un valor de \$4300, mientras que el empalme en frío cuesta \$3400.

Recomendaciones

- Se sugiere a futuros investigadores el uso de la Norma CEMA, DIN 22101, DIN 22102 e ISO 283 para realizar cálculos de diseño, selección de componentes y ensayos de tracción a las fajas transportadoras con núcleo textil.
- Es recomendable que el personal de planta siga operando la faja transportadora con los parámetros de funcionamiento actuales, debido a que el empalme vulcanizado en caliente asegura el funcionamiento dentro de dichos parámetros.
- Según los datos obtenidos, debería implementar un plan de mantenimiento predictivo para inspeccionar y registrar el estado del empalme de la faja transportadora en intervalos de tiempo convenientes.
- Basándonos en los resultados, se recomienda la aplicación del vulcanizado en caliente en fajas transportadoras de minerales con núcleo textil. este método, al superar las exigencias de tracción, minimiza la probabilidad de fallas y ofrece una mayor durabilidad. esto se traduce en una mejora de la eficiencia operativa, una reducción de costos a largo plazo.

Referencias

- Cardona, G., & Garavito, C. (2022). *Plan de mantenimiento predictivo para los reductores de las bandas transportadoras en una planta productora de concret o* (Tesis de posgrado) Universidad ECCI, Colombia.
- Carpio, E. (2021). *Análisis de la construcción y montaje de módulos anti tormentas eléctrica, para trabajos de empalme vulcanizado en faja transportadora Overland, de 72 pulgadas banda con alma de acero en Minera las Bambas* (Tesis pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú.
- CONTITECH. (2016). *Manual de empalmes vulcanizados*. CONTITECH. Conveyor Belt Group. Recuperado de <https://es.slideshare.net/lewa65/manual-deempalmesvulcanizados-de-contitech>
- Días, E. (2019). *Determinación de los parámetros de diseño de un transportador de banda para la agroindustria de granos* (Tesis de pregrado), Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador.
- Dobrota, D., & Petrescu, V. (2019). Constructive optimization of vulcanization installations in order to improve the performance of conveyor belts. *Materials*, 12(21), 3607. doi:10.3390/ma12213607
- Dunlop, F. (2022). *Información sobre los empalmes: ¿qué es el empalme?*. Obtenido de Fender Dunlop Conyevor Belting. Recuperado de <https://fennerdunlopamericas.com/es/company/splice-insights-what-is-splicing/#:~:text=Fenner%20Dunlop%20recomienda%20el%20empalme,las%20de%20la%20banda%20madre>
- Encarnación, J., & Salas, Á. (2019). *Plan de seguridad para disminuir riesgos laborales en el mantenimiento de fajas transportadoras en una empresa de servicios, Lima 2019* (Tesis de pregrado) Universidad César Vallejo, Perú.
- Flores, G. (27 de abril de 2020). Que es la mejora continua e Innovacion?. *La – Respuesta*. Recuperado de <https://la-respuesta.com/pautas/que-es-la-mejora-continua-e-innovacion/>
- Flores, P. (2021). *Propuesta de implementación de la identificación de peligros, evaluación y control de riesgos en el proceso de empalme de fajas transportadoras* (Tesis de pregrado) Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú.

- González, M., & Lobos, G. (2018). *Estudio y diseño de contra transportadora automatizada (Tesis de pregrado)*. Universidad Técnica Federico Santa María, Concepción.
- Goodyear. (1 de septiembre de 2018). *Manual de Instrucciones para los Empalmes Vulcanizados en las Correas Transportadoras Goodyear en Español*. Goodyear Tire & Rubber Company. Recuperado de https://www.goodyearrubberproducts.com/spanishpdfs/manual_empalmes_vulcanizados.pdf
- Granda, J. (2020). *Mantenimiento y cambio total de una faja transportadora de 15 kilómetros de desarrollo por desgaste en minera las Bambas* (Tesis de pregrado) Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta edición ed.). Mc Graw Hill Education
- Huaman, E. (2014). *Tecnología de bandas transportadoras* (Tesis de pregrado) Universidad Nacional de San Agustín, Perú
- Hurtado, A., & González, B. (12 de Agosto de 2010). *Metodología de un programa de mantenimiento a bandas transportadoras en la empresa Calizas Industriales del Carmen S.A de C.V.* Cancún: Instituto Politécnico Nacional. Recuperado de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/7595/ESIME-CALIZAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ISO. (2000). *Sistemas de gestión de la calidad - Requisitos*. Ginebra: ISO. Recuperado de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:es>
- ISO9001calidad. (2022). *Sistemas de Gestión de la Calidad según ISO 9001*. Recuperado de <https://iso9001calidad.com/que-es-una-norma-7.html>
- Kirenli, S., & Demirsöz, R. (2022). Effects of Different Splicing Methods on Conveyor Belt Strength. *INESEG*, 12(1), 22-29. Recuperado de <https://dergipark.org.tr/en/pub/ejt/issue/69477/1086915>
- Lengua, C. (2016). *Estudio de Poleas Motrices de sección T para fajas transportadoras clasificadas entre 800 y 2500 PIW* (Tesis de pregrado) Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú
- Lozada, J. (2014). Investigación Aplicada. Definición, Propiedad Intelectual e Industria. *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 3(1), 47-50. Recuperado de

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749#:~:text=La%20investigaci%C3%B3n%20aplicada%20busca%20la,la%20teor%C3%ADa%20y%20el%20producto>

- Lucio, F., & Plancarte, E. (2015). *Diseño y selección de los componentes mecánicos para vulcanizado en bandas transportadoras para la industria alimentaria* (Tesis de pregrado) Instituto Politécnico Nacional, México.
- Maldini, D., Susanto, H., & Pribadyo. (2022). Replace Belt conveyor dengan Sistem Heater Pada Unit Belt PT. Mifa Bersaudara. *Journal Mahasiswa Mesin UTU*, 1(1), 104-113. Recuperado de <http://jurnal.utu.ac.id/JMM/article/view/5819/3010>
- Maurice, P., Lavole, M., Levaque, R., Chapdelaine, A., & Bélanger, H. (1998). *Seguridad y promoción de la seguridad: Aspectos conceptuales y operacionales*. Recuperado de <https://www.inspq.qc.ca/es/publicaciones/801>
- NILOS. (s.f.). *Instrucciones de trabajo para el empalme de bandas textiles mediante un proceso en caliente*. NILOS GmbH & Co. KG, Hiden. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/632465058/Empalme-en-Caliente-EP-NIlos-Alemania>
- Omonboevich, N. & Ne'matovich, L. (2021). Method of conveyor belts jointing when using special vulcanization compounds. *Theoretical & Applied Science*, 100(8), 17-21. doi: 15863/TAS.2021.08.100.4
- Puente, J. (1999). *Diseño de transportador de carga* (Tesis de posgrado) Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Purizaca, T. (2021). *Plan de mantenimiento preventivo para mejorar la productividad de la faja transportadora de fosfatos de una empresa minera, Piura 2021* (Tesis de pregrado) Universidad César Vallejo, Perú.
- Salinero, M. (2013). *Diseño de una banda transportadora mediante guide de MATLAB* (Tesis de pregrado) Universidad Carlos III de Madrid, España.
- Spinozzi, D. (26 de septiembre de 2019). *SPINOZZI Tecnología en movimiento*. Recuperado de <https://www.spinozziargentina.com/post/guia-fundamental-de-cintas-transportadoras>
- Torres, A. (2018). *Elaboración de procedimiento y protocolo de empalme vulcanizado en caliente para el cambio de 310 metros de faja transportadora con alma de acero*

para el centro minero Shougang Hierro Perú S.A.A. 2016 (Tesis de pregrado)
Universidad Nacional del Callao, Perú.

Anexos

Anexo 1. Matriz de consistencia	1
Anexo 2. Transportador de faja 240-CVB-033 60"x19.2 m	3
Anexo 3. Ensayo de tracción en muestras de la faja transportadora	4
Anexo 4. Probeta 1 de faja transportadora luego del ensayo de tracción	6
Anexo 5. Probeta 2 de faja transportadora luego del ensayo de tracción	7
Anexo 6. Probeta 3 de faja transportadora luego del ensayo de tracción	8
Anexo 7. Carta de certificación sobre empalmes vulcanizados en caliente en fajas con núcleo textil y acero.....	9
Anexo 8. Foto del conveyor 240-CVB-033	10
Anexo 9. Protocolo de empalme de fajas con núcleo textil	11

Anexo 1. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE: X = Empalme vulcanizado en caliente	Tipo de investigación: Aplicada Nivel de investigación: Descriptiva Enfoque de investigación: Cuantitativo Diseño de investigación: No experimental – Corte transversal
¿De qué manera la evaluación de empalme vulcanizado en caliente de fajas transportadoras de minerales con núcleo textil permitirá reducir los riesgos de falla continua en operación?	Evaluar el empalme vulcanizado en caliente de fajas transportadoras de minerales con núcleo textil para reducir los riesgos de falla continua en operación.	La evaluación del empalme vulcanizado en caliente de fajas transportadoras de minerales con núcleo textil permitirá reducir considerablemente los riesgos de falla continua en operación.	VARIABLE DEPENDIENTE: Y = Riesgos de falla continua	
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS		Población: Estará conformado por el proceso de empalme vulcanizado en caliente de fajas transportadoras con núcleo textil.
¿Cuál es el procedimiento del empalme vulcanizado en caliente de fajas transportadoras con núcleo textil para reducir el riesgo de falla en una operación en una empresa minera?	Diseñar el procedimiento del empalme vulcanizado en caliente de fajas transportadoras con núcleo textil para reducir el riesgo de falla en operación en una empresa minera.	El diseño del procedimiento permitirá mejorar el empalme vulcanizado en caliente de fajas transportadoras con núcleo textil en una empresa minera.		Muestra: La muestra tendrá el mismo tamaño que la población. Asimismo, se aplicará un muestreo no probabilístico intencional.
¿De qué manera debe ser realizado el protocolo de trabajo para reducir los defectos del vulcanizado en caliente	Realizar un protocolo de trabajo para reducir los defectos del vulcanizado en caliente	El protocolo de trabajo fijados permitirá reducir los defectos del vulcanizado en caliente de las fajas		

de las fajas transportadoras con núcleo textil en una empresa minera?	de las fajas transportadoras con núcleo textil en una empresa minera.	transportadoras con núcleo textil en una empresa minera.	Técnicas de recolección de datos: Observación y análisis documental.
¿En qué forma debe ser realizado el proceso de vulcanizado en caliente de fajas transportadoras con núcleo textil para reducir las brechas de los estándares de seguridad y calidad en una empresa minera?	Realizar el proceso de vulcanizado en caliente de fajas transportadoras con núcleo textil para reducir las brechas de los estándares de seguridad y calidad en una empresa minera.	El proceso de vulcanizado en caliente de fajas transportadoras con núcleo textil permitirá reducir las brechas de los estándares de seguridad y calidad en una empresa minera.	Instrumentos de recolección de datos: Fichas de registros de datos y fichas bibliográficas.
¿Cuál es la variación en la resistencia a la tracción de la faja transportadora de minerales con núcleo textil que tiene empalme vulcanizado en caliente?	Determinar la variación en la resistencia a la tracción de la faja transportadora de minerales con núcleo textil que ha sido sometida a un empalme vulcanizado en caliente.	La resistencia a la tracción de la faja transportadora de minerales con núcleo textil experimentará una variación luego de someterla a un empalme vulcanizado en caliente.	Técnicas para el procesamiento y análisis de la información Para el procesamiento de datos se utilizará el software de Microsoft Excel; permitiendo la construcción de tablas y gráficos, facilitando la interpretación de los mismos.

Anexo 2. Transportador de faja 240-CVB-033 60"x19.2 m

[illegible]

Anexo 3. Ensayo de tracción en muestras de la faja transportadora



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Mecánica

Laboratorio de Mecánica N° 4

INFORME TÉCNICO

Lb4 - 0044 - 2024

ENSAYOS DE TRACCION EN MUESTRAS DE FAJA TRANSPORTADORA

* SOLICITANTE : **JUAN CARLOS ESPINOZA CONISLLA**
 * REFERENCIA : Orden de Laboratorio N° 109166
 * FECHA : Lima, 24 de enero de 2024

1. ANTECEDENTES

Se recibió de la empresa solicitante, tres (03) muestras de faja transportadora, con la finalidad de realizar lo siguiente:
 * Ensayo de tracción

2. DE LA MUESTRA

Se identificó según la empresa solicitante, como:
 Tres (03) muestras de faja transportadora, de características:
 * Espesor : 31 mm
 * Material : Caucho y nylon. (EP)
 * Tipo : Faja transportadora textil
 * Uso : Transporte de minerales
 * Marca : GOOD YEAR
 * Fabricante : GOOD YEAR
 * Procedencia : Americana (EE. UU.)
 * Proyecto : GESTIÓN DE EMPALME VULCANIZADO EN CALIENTE DE FAJAS TRANSPORTADORAS DE MINERALES CON NÚCLEO TEXTIL PARA REDUCIR LOS RIESGOS DE FALLA CONTINUA EN OPERACIÓN.

3. EQUIPOS UTILIZADOS

* Máquina Universal de Ensayos mecánicos, marca LG, capacidad 60 Ton.
 * Vernier digital, marca MITUTOYO, aproximación 0,01 mm.

4. CONDICIONES DE ENSAYO

* T. : 21 °C
 * H.R. : 72 %

5. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Norma de Ensayo : ISO 283

RESULTADOS


6.1 Ensayo de tracción

Probeta	Diámetro (mm)	Área (mm ²)	Longitud Inicial (mm)	Longitud Final (mm)	Fuerza Máxima kN (kgf)	Esfuerzo Máximo MPa (kgf/mm ²)	Elongación %
1	12.50	25.00	102.00	108.00	13.83 (1410.00)	553.10 (56.40)	5.88



Probeta	Diámetro (mm)	Área (mm ²)	Longitud Inicial (mm)	Longitud Final (mm)	Fuerza Máxima kN (kgf)	Esfuerzo Máximo MPa (kgf/mm ²)	Elongación %
2	12.50	25.00	102.00	111.40	13.93 (1420.00)	557.02 (56.80)	9.22
3	12.50	25.00	102.00	117.00	17.75 (1810.00)	710.00 (72.40)	14.71

* Código de autenticación : LIV (DCXLIX DXC) XIX XLIV VEGA QUIS


JULIAN J. CADENILLAS BALTAZAR
NIVEL II SMT TC-1A-VT-UT-PT
Especialista en Ensayos Destructivos




ING. SANTIAGO PAREDES JARAMILLO
CIP: 23368
Jefe del Laboratorio de Mecánica - Lab. N° 4

Anexo 4. Probeta 1 de faja transportadora luego del ensayo de tracción



Anexo 5. Probeta 2 de faja transportadora luego del ensayo de tracción



Anexo 6. Probeta 3 de faja transportadora luego del ensayo de tracción



Anexo 7. Carta de certificación sobre empalmes vulcanizados en caliente en fajas con núcleo textil y acero

Av. Brasil 203 » Lima 1, Perú
Telefax Ventas: 423-2297 » 424-2741 » 423-9384
P.O. BOX 3122 » Lima 1, Perú
e-mail: postmast@roeda.com.pe
web site: www.roeda.com.pe



Lima 10 de Diciembre del 2023.

Señores:
COSAPI SAC
Ciudad.

Atn.: Sr. Gustavo Ríos
Ref.: Record de Empalmes Textiles, vulcanizados en Caliente.

.....
De nuestra consideración:

Nos es grato dirigirnos a Uds., con el fin de informarles sobre los trabajos realizados en los distintos centros mineros, en el rubro de sistemas de vulcanización en caliente, en fajas transportadoras textiles y cables de acero.

TIPO FAJA	MARCA	ANCHO	CENTRO MINERO
USFLEX II 1000	Scandura	60"	BARRICK – ALTO CHICAMA.
EP/800/4	Phoenix	60"	BHP TINTAYA
EP/1000/4	Phoenix	60"	BARRICK - PIERINA
EP/1250/4	Phoenix	48"	MINERA YANACocha.
DELKOR TECNICS	DELKOR	3 MTS.	MILPO – CERRO LINDO
EP/1200/5	GOOD YEAR	60"	SOUTHER - CUAJONE
EP/630/4	GOOD YEAR	42"	ANTAMINA - PEBBLES
XE-SC-BELTS	ALEMAN	55"	ANTAMINA – ALTA PENDIENTE
EP/1000/4	GOOD YEAR	48	MINERA EL BROCAL
EP/1250/4	GOOD YEAR	36	ANTAMINA – PEBBLES.
EP/1250/4	GOOD YEAR	54"	SOUTHER - CUAJONE
EP/800/4	PHOENIX	72"	MINERA CERRO VERDE.
ST-1250	GOOD YEAR	72"	SOUTHER – TOQUEPALA.
EP/1250/5	GOOD YEAR	62"	MINERA – YANACocha.
EP/800/4	PHOENIX	54"	BARRICK – LAGUNA NORTE

Anexo 8. Foto del conveyor 240-CVB-033



Anexo 9. Protocolo de empalme de fajas con núcleo textil

PROTOCOLO EMPALME FAJAS NUCLEO TEXTIL

I. INFORMACIÓN GENERAL FAJA TRANSPORTADORA TEXTIL (EP)

N° DE FAJA	317-CVB-033	FECHA	11-Abr-23
AREA	Chancadora de Pebble	EMPALME N°	Empalme Cierre
TIPO DE FAJA	EP/1600/4	LONGITUD EMPALME	1200mm
ANCHO	1520mm (60")	N° STEPS	3 Steps
FABRICANTE	Good Year	LONGITUD DE LOS STEPS	400 mm
N° LONAS	4 Ply	ESPESOR FAJA	31mm
REALIZADO POR	Roeda SA	ESP. COVER CARGA/RETORNO	(15+6) mm

II. MATERIALES DE EMPALME

A. KIT DE EMPALME

NOMBRE	MARCA	FECHA VENCIMIENTO	CÓDIGO	PESO	ESPESOR	CANT
COJIN INTERMEDIA	NILOS	Julio 2023			0.8 mm	7 rollos
CAUCHO DE CARGA	NILOS	Julio 2023			6 mm	5 rollos
CAUCHO DE RETORNO	NILOS	Julio 2023			3 mm	4 rollos
CEMENTO VULCANIZANTE	Tip Top	Julio 2023	HL-T4			8 latas
BREAKER CARGA						
TELA VULCATRIX TEMP.	NILOS					2 m
PAPEL SILICONADO TEMP.	NACIONAL					6 m

KIT COMPLETO? SI ☒ NO ☐

OBSERVACIONES

Kit de empalme completo proporcionado por ROEDA SA, DIN K,S, Antiestatica/Antiflama

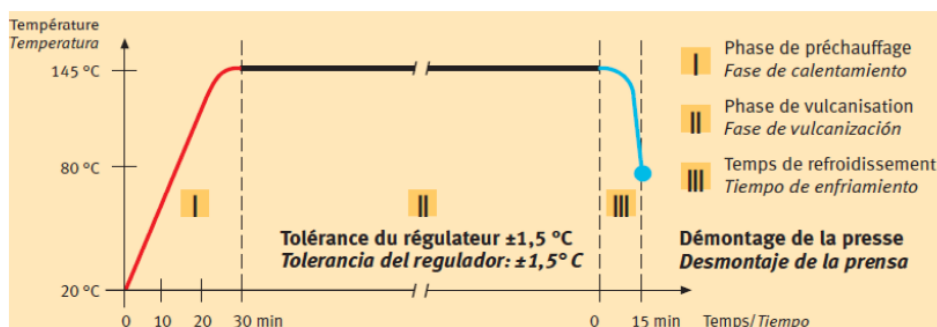
III. PARÁMETROS DE EMPALME Y VULCANIZADO

B. PRENSA VULCANIZADORA

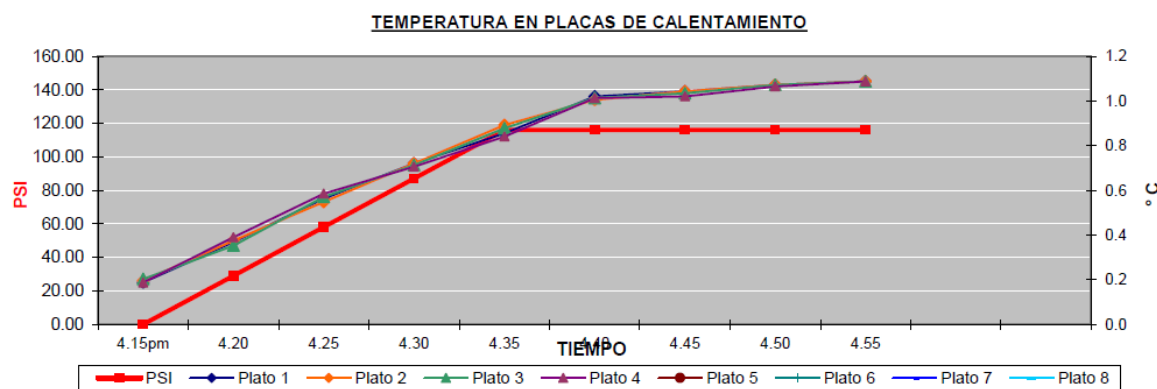
MARCA	NILOS	CANTIDAD RIELES	20
DIMENSIONES	1400x1400mm	ANGULO INCLINACION	22°
PROPIEDAD DE:	ROEDA	CANTIDAD DE PLATOS	4

C. PARÁMETROS PARA VULCANIZACIÓN

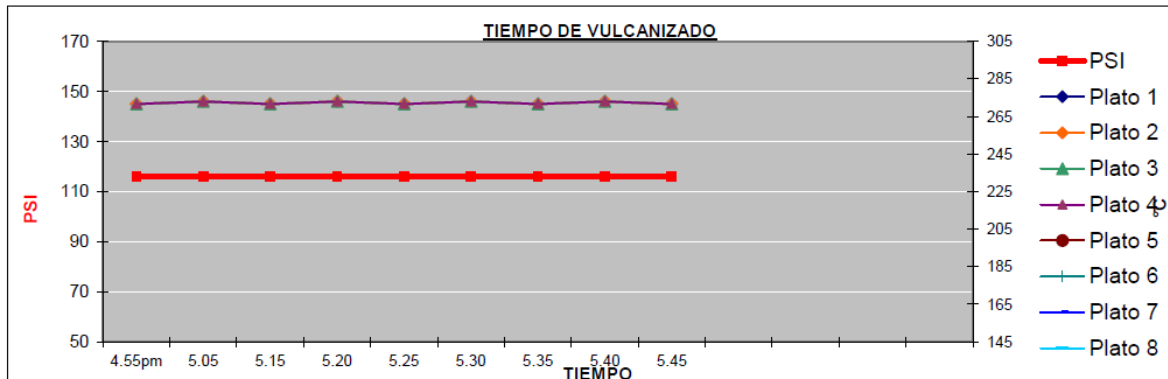
TEMPERATURA DE VULCANIZACIÓN	145 ° C
TIEMPO DE VULCANIZACIÓN	100 minutos
PRESIÓN DE TRABAJO	8 BAR
TEMPERATURA DE APERTURA DE PRENSA	35 ° C
ESPESOR DE SELLOS LATERALES	12 mm
TEMPERATURA AMBIENTE DE TRABAJO	20 °C (mínimo)



PROCESO DE CALENTAMIENTO DE PLATOS										
TIEMPO (HORA)	PRESION (PSI)	TEMPERATURA DE PLATOS (°C)								OBSERVACIONES
		1	2	3	4	5	6	7	8	
4.15pm	0.00	25.0	26.0	27.0	25.0					Encendido de Equipo de Vulcanizado
4.20	29.00	49.0	50.0	47.0	52.0					
4.25	58.02	75.0	73.0	76.0	78.0					Final de Eliminacion de Gases Internos
4.30	87.02	96.0	96.0	95.0	94.0					
4.35	116.03	114.0	119.0	117.0	112.0					
4.40	116.03	136.0	134.0	135.0	135.0					
4.45	116.03	139.0	139.0	138.0	136.0					
4.50	116.03	143.0	143.0	143.0	142.0					Final de Elevacion de temperatura
4.55	116.03	145.0	145.0	145.0	145.0					



PROCESO DE VULCANIZADO										
TIEMPO (HORA)	PRESION (PSI)	TEMPERATURA DE PLATOS (°C)								OBSERVACIONES
		1	2	3	4	5	6	7	8	
4.55pm	116.03	145.0	145.0	145.0	145.0					Inicio de proceso de vulcanizado
5.05	116.03	146.0	146.0	146.0	146.0					Sistema de agua a presión
5.15	116.03	145.0	145.0	145.0	145.0					
5.20	116.03	146.0	146.0	146.0	146.0					
5.25	116.03	145.0	145.0	145.0	145.0					
5.30	116.03	146.0	146.0	146.0	146.0					
5.35	116.03	145.0	145.0	145.0	145.0					
5.40	116.03	146.0	146.0	146.0	146.0					
5.45	116.03	145.0	145.0	145.0	145.0					Final del Proceso de Vulcanizado



[illegible]