



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
FACULTAD METALURGIA-ELECTROMECAÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

TESIS EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

Verificación de los transportadores de banda de la planta procesadora de áridos “El Pílon” del municipio Mayarí.

Autor: Yoelvis Pereda Fernández

Tutor (es): Ms. C. Raymundo Betancourt Laurencio
Dr. C. Roberto Johan Sierra Pérez

Moa, junio de 2018
“Año 60 de la Revolución”

Declaración de autoridad

Yo, Yoelvis Pereda Fernández, autor de este trabajo de diploma, certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez", el cual podrá hacer uso del mismo cuando estime conveniente.

Yoelvis Pereda Fernández
Autor Tutor

Ms. C. Raymundo Betancourt Laurencio

Dr. C. Roberto Johan Sierra Pérez
Tutor

Pensamiento

(...) He aquí mi secreto, que no puede ser más simple: sólo con el corazón se puede ver bien; lo esencial es invisible para los ojos.

Antoine De Saint-Exupery (El Principito)

Agradecimientos

A mi madre Maricel C., a mi padre Edmundo A., a mis hermanos Alfredo, Alain y Yoalner, a mis suegros Pedro y Elena, a mi esposa Aniley por su apoyo incondicional y comprensión.

A mis tutores Ms. C. Raymundo Betancourt Laurencio y al Dr.C. Roberto Johan Sierra Pérez por su ayuda y dedicación durante la realización de este trabajo.

A los profesores de mi facultad y a mis compañeros de estudios.

A mis amigos, con los cuales he podido contar en todo momento.

A todos:

Eterno Agradecimiento.

Dedicatoria

A mis padres, a mis abuelos, a mis hermanos, a mi esposa, a mis suegros y a mis amigos.

Resumen

En el presente trabajo de diploma se realiza una búsqueda de fuentes bibliográficas asociadas a la temática en cuestión, se valora el estado actual de los equipos de transporte continuo en la empresa productora de grava y arena “El Pílon” en el municipio de Mayarí. Se define como metodología de cálculo a emplear, la propuesta por Sierra, 2010 y Oriol y Aguilar, 1995. Se calculan además los parámetros de los transportadores de banda empleados para el transporte de áridos en la planta. Se describen las características técnicas de los transportadores de banda instalados, del perfil de su traza y las propiedades físico-mecánicas del material transportado. El análisis de los resultados obtenidos evidencia el sobredimensionamiento de los transportadores analizados. La valoración económica realizada demuestra que es posible el ahorro de portadores energéticos y de inversión en la compra de las bandas. Por último se analizan los principales impactos ambientales asociados a los transportadores de banda tomados como objetos de estudio.

Abstract

In the present paper, a search of bibliographic sources associated with the subject in question is carried out, the current state of the teams of continuous transport in the producing company of gravel and sand “El Pílon” in the municipality of Mayarí is valued. It's defined as calculation methodology to be used, the one proposed by Sierra, 2010 and Oriol and Aguilar, 1995. The parameters of the belt conveyors used to transport aggregates in the plant are also calculated. The technical characteristics of the belt conveyors installed the profile of their trace and the physico-mechanical properties of the transported material are described. The analysis of the results obtained shows the oversizing of the transporters analyzed. The economic evaluation shows that it is possible to save energy carriers and investment in the purchase of the bands. Finally, the main environmental impacts associated with the belt conveyors taken as objects of study are analyzed.

Índice

Introducción.....	1
CAPÍTULO I. Marco teórico.....	4
1.1. Introducción	4
1.2. Estado del arte.....	4
1.3. Peculiaridades de los transportadores de banda.....	8
1.4. Propiedades físico - mecánicas de los áridos procesados	20
1.4.1. Características cualitativas de la materia prima	21
1.5. Descripción del flujo tecnológico.....	22
1.6. Conclusiones del capítulo	23
CAPÍTULO II. Materiales y métodos	24
2.1. Introducción	24
2.2. Metodología de cálculo para transportadores de banda utilizada.....	25
2.3. Determinación de los diferentes parámetros según el orden establecido por la metodología de cálculo	26
2.3.1. Cálculo del ancho de banda conociendo la productividad	26
2.3.2. Determinación de la resistencia a la marcha del transportador.....	28
2.3.3. Determinación de la tensión de la banda	33
2.3.4. Construcción del esquema de cálculo según proceso tecnológico .	34
2.3.5. Selección de los rodillos de apoyo de los transportadores de banda determinados en función de la carga.....	36
2.3.6. Selección del accionamiento de cada transportador.....	38
2.4. Establecimiento del sistema de mantenimiento	41
2.4.1. Generalidades del análisis de criticidad	41
2.4.2. Análisis de criticidad.....	44
2.4.3. Estado técnico en el mantenimiento preventivo planificado.....	45
2.4.4. Selección del sistema de mantenimiento	46
2.5. Conclusiones del capítulo	50
CAPÍTULO III. Análisis de los resultados	51
3.1. Introducción	51
3.2. Parámetros tecnológicos de los transportadores estudiados	51
3.3. Propuesta del ciclo de mantenimiento para los transportadores	55
3.3.1. Análisis de criticidad.....	55
3.3.2. Determinación del tipo de mantenimiento	56

3.3.3.	Estado técnico.....	57
3.3.4.	Estructura del ciclo de mantenimiento	58
3.3.5.	Actividades a desarrollar en el ciclo de mantenimiento.....	59
3.3.6.	Plan de acción para el elemento más crítico.....	60
3.4.	Valoración económica	61
3.5.	Impacto medio ambiental y riesgos	63
3.6.	Conclusiones del capítulo	64
	Conclusiones generales	65
	Recomendaciones.....	66
	Referencias bibliográficas	67
	Anexos	71

Introducción

Las problemáticas que refieren a los transportadores de banda se manifiestan hoy a escala mundial como una de las más fuertes competencias en la búsqueda incesante de nuevas tecnologías, diseños, métodos y procedimientos para aplicar en las ramas productivas. Los procesos de extracción y transporte de áridos por sus altos requerimientos energéticos, son ejemplos de campos donde se realizan importantes acciones encaminadas a lograr indicadores energéticos cada vez más favorables.

El incremento de la demanda de áridos, el nivel de agotamiento de los recursos en los yacimientos de áridos locales e incumplimiento de normas de explotación de dichos yacimientos, hace necesaria la aplicación de la ciencia, la tecnología y la innovación, para garantizar la producción y obtención de estos recursos con los parámetros requeridos y su explotación racional, tanto económica como energéticamente. Por otro lado las demandas para las producciones locales no satisfacen las necesidades exigidas por las nuevas inversiones, los mantenimientos y reparaciones previstas.

En Mayarí, durante el diseño y explotación de los equipos que conforman los esquemas tecnológicos para la preparación mecánica y el beneficio de los áridos, tienen considerables pérdidas económicas por concepto de inversión, por adquisición de equipos en el mercado exterior en monedas libremente convertibles, que incluso en la mayoría de los casos sus capacidades no se ajustan a las requeridas y de otro lado se encarecen los gastos de insumos, partes y piezas para las actividades de mantenimiento y reparación. Según datos del Centro de Investigación y Desarrollo de Materiales de Construcción (CIDMC), 2015, las pérdidas económicas por los conceptos señalados oscilan entre un 19 y 43 %.

Según (Sierra, 1987) las pérdidas de energía en los equipos que componen las procesadoras de grava y arena, están en el orden de 30 y 37 %, principalmente por subutilización de las capacidades de carga instaladas y la instalación de equipos con productividades y potencia de su accionamiento inadecuadamente. Nótese que hasta la fecha según el Centro de Investigación y Desarrollo de Materiales de Construcción (CIDMC) el número de instalaciones se ha incrementado en todo el territorio

nacional, y esto hace que sea de mucha importancia el análisis de los consumos energéticos y de capacidad productiva de las instalaciones. En Cuba se han adquirido equipos importados por miles de dólares, cuya producción nacional según (CIDMC) de Cuba constituye alrededor del 15 al 35 % de los costos de adquisición.

Situación problemática

Durante el diseño y explotación de los equipos que conforman los esquemas tecnológicos de la planta procesadora de áridos “El Pílon” del municipio Mayarí, tales como transportadores de banda y otros, empleados en la preparación mecánica y beneficio de los áridos, existen cuantiosas pérdidas económicas por concepto de inversión y de energía, dadas por la adquisición de equipos en el mercado exterior, que en la mayoría de los casos excede las capacidades requeridas, ya que no se cuenta con una metodología adecuada de diseño y selección de estos equipos, lo que ha traído como consecuencia el aumento de los gastos de insumos, partes y piezas para las actividades de mantenimiento y reparación, afectando considerablemente a los trabajadores de mantenimiento que deben de interrumpir sus labores asignadas para darle respuesta a las averías presentadas por los transportadores y a la empresa ya que deja de ingresar dinero, así como a la sociedad en general ya que no se producen materiales de construcción.

Problema

Frecuentes averías en los transportadores de banda de la planta procesadora de áridos “El Pílon” del municipio Mayarí.

Objeto de estudio

Transportadores de banda empleados para el acarreo de áridos.

Objetivo general

Desarrollar el cálculo verificativo de los parámetros tecnológicos de los transportadores de banda para las condiciones actuales de explotación que permita identificar las causas de las frecuentes roturas que se producen en los mismos.

Objetivos específicos

1. Verificar los parámetros de trabajo para las condiciones actuales de explotación.
2. Identificar las causas de las frecuentes averías en los transportadores.
3. Proponer un ciclo de mantenimiento que conduzca a reducir las frecuentes roturas en los transportadores.

Campo de acción

Verificación de los parámetros tecnológicos en transportadores de banda empleados para el acarreo de áridos.

Hipótesis

Si se desarrolla el cálculo verificativo de los parámetros tecnológicos en los transportadores para las condiciones actuales de explotación, entonces se podrán identificar las causas de las frecuentes averías que se producen en los transportadores de banda de la planta procesadora de áridos “El Pílon” del municipio Mayarí, desde el punto de vista de inversión y energía.

Tareas del trabajo

1. Establecimiento del estado del arte y la sistematización de los conocimientos y teorías relacionadas con el objeto de estudio.
2. Verificación de los parámetros de trabajo para las condiciones actuales de explotación.
4. Identificación de las principales causas que conducen a las averías en los transportadores.
5. Comprobación de los accionamientos empleados en los diferentes transportadores según los parámetros tecnológicos establecidos.
6. Propuesta de un ciclo de mantenimiento para las condiciones actuales de explotación y valoración de los resultados, así como los impactos económicos, sociales y ambientales.

CAPÍTULO I. Marco teórico

1.1. Introducción

Los transportadores de banda son máquinas de transporte continuo de materiales a granel ampliamente conocidos en el mundo. En el presente capítulo se hace un estudio sobre las peculiaridades de explotación de los transportadores de banda utilizados para el transporte de áridos y otros. Se establecen las peculiaridades de los transportadores de banda a partir de varias fuentes bibliográficas nacionales e internacionales. Este análisis es de suma importancia por la diversidad de procedimientos que existen para el cálculo del ancho de la banda, selección de la velocidad de movimiento de la banda, las resistencias al movimiento, las tensiones a que están sometidas durante su funcionamiento, así como otros parámetros tecnológicos importantes.

Se identifican las principales propiedades físico-mecánicas de los áridos acarreados y procesados en el proceso tecnológico de la instalación analizada.

Objetivo del capítulo

Exponer los fundamentos teóricos de los procedimientos establecidos para la obtención de los parámetros tecnológicos de los transportadores de banda empleados en la planta procesadora de grava y arena “El Pilón” del municipio Mayarí.

1.2. Estado del arte

El transporte de producto o materias primas mediante bandas transportadoras, surge aproximadamente desde el año 1795. Las primeras instalaciones se realizaron sobre terrenos relativamente planos y a cortas distancias.

La primera banda transportadora era muy primitiva y no fue calificada como exitosa, pero provocó incentivar a los ingenieros para considerar los transportadores como rápidos, económicos y seguros para mover grandes volúmenes de materias primas entre dos o más puntos, alejados entre sí, ubicados generalmente, dentro de una misma planta o perímetro.

Durante los años 20, la instalación de la compañía H. C. Frick, demuestra que los transportadores de banda pueden trabajar sin ningún problema en largas distancias. Esta instalación se realizó bajo tierra desde una mina, recorriendo casi 8 kilómetros. La cinta transportadora contaba con múltiples pliegues de algodón de pato con cubierta de goma natural, que eran los únicos materiales utilizados en esos tiempos para su fabricación. Durante las diferentes décadas se fueron perfeccionando todas estas máquinas, así como sus metodologías de cálculo. En nuestro país existen diferentes instalaciones de gran complejidad en el acarreo de los áridos. En la actualidad existen programas digitales controlados por computadoras y autómatas programables que son capaces de determinar algunos parámetros tecnológicos y posibles averías de estas máquinas.

(Calderón, 1984) realiza una comprobación al transportador de banda CB-3 de la planta de secaderos y molinos de la Empresa Comandante “Ernesto Che Guevara”, siendo este un eslabón continuo que analizaremos en nuestro trabajo.

Determinación de la resistencia al movimiento en los tramos curvos dados por (Tarasov, 1980; Pereda, 1999) en las cuales los autores consideran esta, estableciendo una relación entre las tensiones de entrada y salida a ese tramo, la llamada ecuación de Euler.

$$S_s = S_e \cdot e^{\mu\alpha} \quad (1.1)$$

(Zelienkii y Petrov, 1986) aplican las ecuaciones generales para determinar la resistencia en los tramos curvos:

Para tramos convexos

$$w = [S_i + (q_c + q_b + 2q'r) \cdot R_1] \cdot \beta_k \omega \pm (q_c + q_b) \cdot h \quad (1.2)$$

Donde:

S_i : tensión a la entrada del tramo.

Para tramos cóncavos,

$$w = (q_c + q_b + q_r') \cdot L_T \omega \pm (q_c + q_b) \cdot h \quad (1.3)$$

(Loyola, 2002), utiliza las ecuaciones de cálculo tradicionales para obtener parámetros estándar en un grupo de transportadores de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, el cálculo y las mediciones demuestran que están subutilizados.

(Mena, 2006), realiza un estudio de la metodología de cálculo de los transportadores de banda, para ello se aplica un método de interpolación llamado “función spline”, mediante el cual se obtienen las dimensiones de los tramos curvos, utilizando las fórmulas clásicas. En este caso se determina la resistencia al movimiento en los tramos curvos y se plantea un algoritmo de trabajo para realizar dicho cálculo; se hace una valoración experimental de los resultados teóricos obtenidos en un transportador industrial y se evalúa el comportamiento de los valores teóricos obtenidos.

(Hinojosa H y Camacho F, 2003), difunden el uso de una herramienta virtual para el diseño de Transportadores de Banda para todo tipo de material, la cual proporciona un software de fácil y amigable entorno que permite calcular, diseñar y seleccionar todos los principales elementos constitutivos de una banda transportadora en función de los requerimientos del proceso.

La resistencia en los tramos rectos, ya sean horizontales e inclinados, establecida en los trabajos de (Faddiev, 1972; Tarasov, 1980; Potapov, 1980; Spivacoski, 1983; Diakov, 1996), se determinan por la siguiente expresión:

$$W_c = [(q_c + q_b) \cdot \cos \beta + q_r] \cdot w \cdot l \pm (q_c + q_b) \cdot \sin \beta \cdot l \quad (1.4)$$

$$W_v = [(q_b) \cdot \cos \beta + q_r'] \cdot w \cdot l \pm (q_b) \cdot \sin \beta \cdot l \quad (1.5)$$

Donde: q_b : es el peso lineal del elemento portador de la carga (la banda); N/m.

q_c : es el peso lineal de la carga; N/m

q_r : es el peso lineal de los rodillos de apoyo en la rama cargada; N/m

q_r' : es el peso lineal de los rodillos de apoyo en la rama vacía; N/m

l : es la longitud del tramo que se analiza; m

β : es el ángulo de inclinación del tramo que se analiza; grados

El signo (+) es cuando el movimiento es hacia arriba y (-) cuando el movimiento es hacia abajo.

Los cambios de dirección de la banda aparte de los que necesariamente tienen que existir, están en los extremos de la traza y se logran con el empleo de tamboras, pueden ser con convexidad hacia abajo o hacia arriba. (Tíjonov, 1987; Oriol y Aguilar, 1995)

Los cambios convexos ocurren en los siguientes casos:

De un tramo ascendente a un tramo horizontal.

- De un tramo ascendente a otro tramo ascendente de menor pendiente.
- De un tramo horizontal a un tramo descendente.
- De un tramo descendente a otro descendente de mayor pendiente.

Dichos cambios se realizan mediante uno de los siguientes métodos:

- a) Con el empleo de tamboras deflectoras
- b) Con el empleo de baterías de rodillos

Las tamboras deflectoras se usan preferiblemente en la rama descargada, la rama cargada está condicionada por el empleo de rodillos planos.

Las baterías de rodillos se usan en la rama cargada principalmente y pueden estar formados por rodillos planos o acanalados. Los rodillos se colocan a una distancia $l_r = (0,4 \text{ a } 0,5) \text{ m}$ y la cantidad de rodillos se determina por: (Oriol y Aguilar, 1995)

$$Z = 1 + \frac{R \cdot \beta_k}{l_r} \quad (1.6)$$

Donde:

R: es el radio de curvatura del tramo curvo

β_k : ángulo que abarca el arco donde se colocan los rodillos; radianes.

La resistencia en los tramos cóncavos no se tienen en cuenta en el cálculo de tracción, en este caso la fuerza de tensión no la comprime hacia los elementos de apoyo, sino, por el contrario, disminuye su apriete en los elementos de apoyo y por eso no provoca resistencia complementaria. (Shubin, 1986)

Según (Vasiliev K A et al, 2006), plantea que el coeficiente constructivo o de forma K se relaciona estrechamente con el ancho de banda y el mismo se determina mediante tablas: anexo 1.4 tabla 1.13.

Solo se dan valores del coeficiente K para ángulos del talud del material de 15 y 20 grados y para ángulos de inclinación de los rodillos laterales de 20 ° y 30 °. El ángulo del talud de los áridos es mayor que estos valores, por lo que no se corresponden y es necesario determinar el valor de K más racional.

(Sierra, 1987), realizó el análisis de la explotación de un esquema tecnológico de una instalación de trituración en funcionamiento, donde se investigaron los flujos de cada fracción de material procesado, el balance energético y nivel de utilización de los equipos. En el mismo se demostró que todos los equipos estaban sobredimensionados y por lo tanto esto conllevaba a un sobreconsumo energético, durante la explotación de áridos en el municipio Mayarí.

Según (Oriol y Aguilar, 1995) el ancho de la banda se calcula por la expresión siguiente:

$$B = \sqrt{\frac{Q}{160 \cdot v \cdot \rho \cdot [3,6 \cdot C_1 \cdot \tan(0,35 \cdot \varphi) + 1]}} ; [m] \quad (1.7)$$

(Betancourt, 2017), establece una metodología para la determinación de los parámetros tecnológicos de los diferentes equipos que componen las instalaciones de procesamiento de áridos, entre los cuales se encuentran los transportadores de banda, teniendo en cuenta las propiedades físico mecánicas de la materia prima procesada.

1.3. Peculiaridades de los transportadores de banda

Un transportador de banda consta en general como mínimo de dos tambores, uno de ellos es motriz y el otro de cola, unidos entre sí por una banda que forma un contorno

cerrado e infinito, que se mantiene tensada por un sistema de tornillos para evitar que se produzca una flecha grande en la banda, esta se apoya sobre rodillos en la rama cargada y en la rama vacía respectivamente, los cuales están sujetos a la estructura del transportador y pueden girar libremente.

El movimiento a la banda se transmite por medio de un tambor motriz accionado desde un motor por medio de una transmisión (reductor de engranaje).

La transportación del mineral se efectúa casi siempre por la rama superior que es alimentada mediante una tolva que suministra el material continuamente. La descarga se realiza por el extremo opuesto o por partes intermedias del perfil mediante dispositivos especiales de descarga.

En el plano vertical el cambio de dirección de la banda se logra mediante la instalación de baterías de rodillos o la colocación de tambores deflectores, (ver figura 1.1).

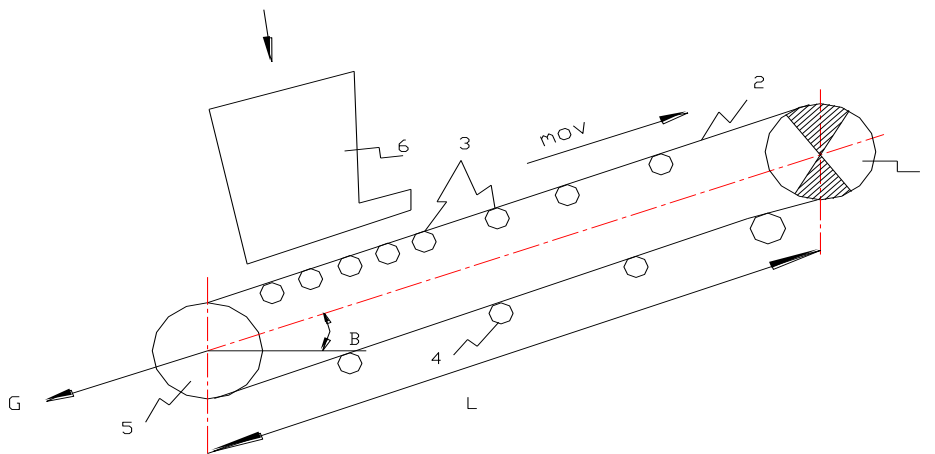


Figura 1.1 Esquema de un transportador de banda.

La banda [2]; en este caso actúa como órgano de tracción y portador de la carga, es movida por el tambor motriz [1], el cual es accionado por un motor eléctrico a través de una transmisión. El tambor motriz le comunica el movimiento a la banda [2] por medio de la fricción entre ambos. La banda se desplaza por encima de los rodillos de apoyo [3] de la rama cargada y [4] de la rama vacía respectivamente, contorneando a su vez el tambor de cola [5] (en este caso sirve de tambor tensor). La banda [2] forma en si un contorno cerrado y es cargada por medio de la tolva [6] o dispositivo

de alimentación. La descarga del material se efectúa en el otro extremo del transportador o por los laterales del mismo en diferentes puntos a través de todo el largo de su perfil mediante dispositivos especiales de descarga; que son las llamadas cuchillas (en la práctica se conocen con el nombre de machetes).

Dispositivos de limpieza

La limpieza total de la banda tiene gran significado para incrementar el plazo de servicio de la banda y para garantizar una explotación normal del transportador.

A los medios de limpieza se les plantea las siguientes exigencias:

1. Limpieza total de la banda.
2. Protección del revestimiento de la banda.
3. Elevados plazos de trabajo, sin desgaste considerable y sin ensuciarse.
4. Limpieza y confiabilidad de la construcción.

Dispositivo de carga

La alimentación de los transportadores de banda analizados se produce desde la tolva u otros equipos que se encuentran dentro del esquema tecnológico de la instalación objeto de estudio.

Cuando se produce la carga de materiales a granel se exige que:

- La carga se dispone en la banda de una forma centrada y uniforme a todo lo largo de la misma.
- La banda y los rodillos de apoyos que se instalan debajo de ella en el lugar de carga no experimentan en lo posible el efecto nocivo de la carga al caer esta en la banda.
- En el lugar de la carga no se produzcan derramamientos ni estancamientos de la carga
- La banda se deja libre por ambos lados y flojas longitudinalmente.

El mayor desgaste de la banda tiene lugar en la zona de carga del material debido al deslizamiento de la carga por la banda y también a los golpes producidos por la

caída de pedazos grandes de material. Para disminuir la influencia dinámica de los golpes en los lugares de carga se instalan deflectores de cadenas y apoyos de rodillos elásticos o soportes de amortiguamiento; es decir, varios apoyos de rodillos que se encuentran unidos entre sí y que están montados sobre un bastidor elástico. También se disminuye la altura de caída de los materiales con ayuda de canales y alimentadores.

Dispositivos de tensado

El dispositivo de tensado empleado en nuestro caso es mediante dos tornillos tensores en la tambora de cola debido a su pequeña longitud. Este dispositivo sirve para crear el tensado inicial del órgano de tracción para limitar la altura de las flechas entre los dispositivos de apoyo y para compensar su alargamiento en el proceso de explotación. En los equipos modernos, el papel del dispositivo de tensado aumenta notablemente y se convierte en un regulador automático del tensado del elemento de tracción en determinados límites, y en un dispositivo automático de protección que desconecta la transmisión cuando se sobrepasa el límite teórico de carga y de alargamiento excesivo del elemento de tracción.

Funcionamiento de los transportadores de banda

Para poner en funcionamiento los transportadores es necesaria la realización de las siguientes operaciones:

1. Revisión general de las instalaciones.
2. Que los pasillos estén libres de objetos.
3. Que no se encuentre ningún objeto sobre la banda.
4. Que las bandas estén tensadas.
5. Revisión de los rodillos.
6. Poner en posición de arranque el transportador y en la pantalla del monitor luego de hacer un chequeo al sistema general donde aparecerá la orden de arranque.
7. Revisar el dispositivo de frenado mediante trinquete.

Sistemas de limpieza de bandas

Los sistemas de limpieza juegan un papel fundamental en la vida útil de la banda. Con estos sistemas se reducen los mantenimientos proporcionando mayor productividad, los sistemas de limpieza de bandas se dividen en dos grupos:

Estáticos y dinámicos

Los sistemas estáticos son los de uso más difundido (rascadores de goma). Estos pueden situarse al iniciar el retorno de la banda debajo de la tambora para que el mineral evacuado caiga al tolván de la siguiente banda transportadora.

Teoría de la transmisión del esfuerzo a la banda

La teoría de la transmisión del esfuerzo a un órgano de tracción flexible mediante los esfuerzos de fricción, fue elaborada por primera vez por el académico Leonardo Euler. Esta teoría sirvió de base para formular la teoría de la transmisión del esfuerzo a la banda del transportador.

En la teoría de Euler no se considera el peso del órgano de tracción ya que estos son de poco peso y pequeñas dimensiones transversales por lo que tampoco se consideraron las tensiones complementarias surgidas en los órganos flexibles, lo cual no se puede dejar de tener en cuenta en los transportadores de banda, donde el peso de la banda es bastante grande y sus dimensiones transversales no son pequeñas, además este ofrece cierta resistencia a la flexión. Por todo lo anteriormente expresado, no es posible aplicar directamente la teoría de Euler a los transportadores de banda. Así a finales del siglo XIX fue precisada esta teoría para los transportadores de banda por los científicos (Petrov y Zhukoski).

En esta nueva teoría la condición fundamental de la transferencia del esfuerzo mediante la fricción es la ausencia de patinaje de la banda sobre el tambor.

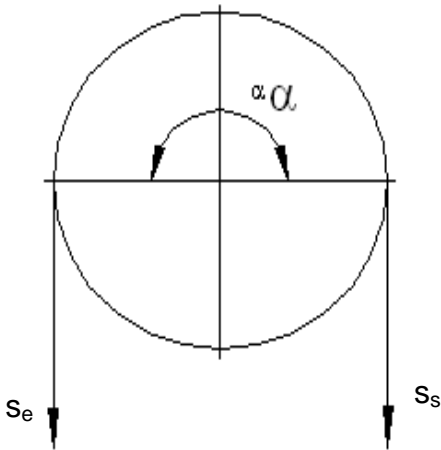


Figura 1.2 Esquema de representación del factor de tracción.

Donde:

S_e : tensión de entrada

S_s : tensión de salida

μ : coeficiente de agarre del hilo con el cilindro

α : ángulo abrazado por el hilo con el cilindro

e: base de los logaritmos neperianos, entonces el hilo se mantiene en estado de reposo respecto al cilindro.

Según (Oriol, 1993) si se toma un hilo, se coloca sobre un cilindro (según la figura 1.2) y si se cumple que: $S_e < S_s \cdot e^{\mu\alpha}$

En el tambor motriz (transmisor del esfuerzo) de un transportador de banda la distribución de las tensiones se representa según la figura 1.3.

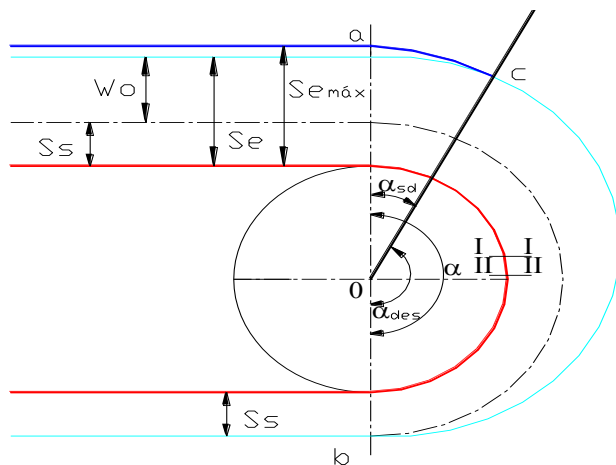


Figura 1.3 Distribución de las tensiones en el tambor motriz.

En la sección I-I actúa la fuerza S_I y en la otra sección actúa la fuerza S_{II} . Debido a que la banda es un cuerpo elástico que se ha deformado en el tramo dado por el ángulo α_{sd} entonces tratará de volver a su posición inicial y por tanto para lograr volver a su posición inicial se deslizará sobre el tambor en la dirección del movimiento, produciéndose micro deslizamientos y por tanto la aparición de una fuerza de resistencia a este movimiento de deslizamiento que tendrá sentido opuesto al movimiento de la banda, lo que produce una disminución de la fuerza S' , es decir, que en la sección II-II habrá una disminución de la tensión con respecto a la tensión en la sección I-I.

Control de velocidad en los transportadores de banda

En años recientes, se han efectuado reiteradas recomendaciones en varias publicaciones en bases de datos internacionales de controlar la velocidad de las correas en los sistemas transportadores (Lauhoff, 2005; Alspaugh, 2004 y 2005). Según estos autores un nivel de llenado del 100 % de la artesa de la banda debe servir de base para el procedimiento de control. Esto significa que siempre debería apuntarse a una alta utilización de la capacidad de transporte promedio, con una velocidad adaptada, de la banda. Este tipo de operación reduce el consumo de energía y el costo de operación. Según (Lauhoff, 2005; Limberg, 1988) la cantidad característica "requerimiento de energía específica " se demuestra que el control de

velocidad con fines de ahorro de energía es inadecuado a niveles tradicionales de llenado de entre 60 % y 100 %.

El control de la velocidad a través de variadores de frecuencia ha tenido amplia aceptación en los complejos de transporte continuo de materiales a granel, especialmente sobre bandas transportadoras, para equilibrar el nivel de llenado, la velocidad de la banda debe controlarse de acuerdo con la carga. Con la utilización de estos equipos que controlan los accionamientos es posible alcanzar reducciones de energía hasta un 30 %.

Ángulo de reposo estático

Se denomina ϕ y caracteriza el grado de movilidad de las partículas que conforman al material (Shubin y Pedre, 1986; Oriol y Aguilar, 1995) o sea, el grado de fluidez del material. Es el ángulo que la superficie lateral de la carga forma con el plano horizontal cuando dicho material es depositado sobre una superficie plana.

La magnitud del ángulo de reposo estático ϕ o dinámico ϕ_d dependerá de las fuerzas de adherencia entre las distintas partículas que conforman al material y de las fuerzas de rozamiento que surgen durante el desplazamiento relativo de las partículas que lo conforman. La relación entre ángulo ϕ y ϕ_d se expresa a través de la siguiente relación (Spivakoski y Potapov, 1983; Vasiliev y Nikolaiev, 2003 y Vasiliev et al, 2006): $\phi_d = (0,7 \text{ a } 0,8)$. En el cálculo de transportadores se utiliza ϕ_d .

La humedad se midió mediante el método tradicional de diferencia de pesadas por su sencillez y fácil aplicación. No es más que el contenido de agua contenido en la carga transportada expresada en %. Según (Oriol y Aguilar, 1995) se determina la humedad H en % por:

$$HU = \frac{W_H - W_S}{W_H} \quad (1.8)$$

Donde:

W_H y W_S : masa inicial (ante del secado) y final de la muestra (después del secado).

La abrasividad no es más que la propiedad que tienen las cargas transportadas de desgastar la superficie con las que están en contacto y depende de las durezas, el tamaño y forma de las partículas que la forman.

La materia prima utilizada en el proceso tecnológico de la instalación analizada se considera como poco abrasivo.

La adherencia es la propiedad que tienen las partículas de las cargas transportadas de pegarse al medio portador de la carga con los cuales ellos están en contacto.

Coeficiente de deslizamiento

Se denomina ψ y se determina como función del ángulo de deslizamiento $[\beta]$ que coincide con el ángulo de la banda con respecto a la horizontal. El valor de ψ expresa que parte del material no se desliza longitudinalmente en la banda en los tramos inclinados; su valor está entre 0 (todo el material se desliza) y 1 (no se desliza ninguna parte del material).

Para los materiales a transportar el ángulo de deslizamiento o admisible del transportador se establece por: $\beta = \varphi_d - \theta_k$ (Shubin y Pedre, 1986; Spivakoski, 1982 y Oriol y Aguilar, 1995), donde θ_k : Margen de seguridad del ángulo de deslizamiento; y φ_d es el ángulo dinámico de talud. Para materiales que sus partículas tienen poca movilidad y gran adherencia entre ellas y el medio portante, se toma $\theta_k = 5^\circ$ (Spivakoski y Potapov, 1983; Valotkoskii, 1990; Vasiliev y Nikolaiev, 2003 y Vasiliev et al, 2006).

Desplazamiento de partículas en la zona de carga

El mayor desgaste de la banda tiene lugar en la zona de alimentación, debido al deslizamiento del mineral sobre la misma y a los choques producidos durante la caída de las partículas de gran tamaño. El deslizamiento del mineral sobre la banda, es resultado de la diferencia de velocidades entre las partículas alimentadas y la de la banda (Sierra, 2010).

En los resultados se consideran las oscilaciones provocadas por las irregularidades de las partículas y las características elásticas de la banda (Sierra, 2009). El fundamento teórico es que con el aumento de la velocidad de la banda, su cantidad de movimiento sobre las partículas es mayor (Sierra et al, 2009).

Si la energía con que llega la partícula a la banda, que depende de la altura y la masa, supera el valor de la energía potencial elástica de la banda; se produce la ruptura y desprendimiento de partículas del material de la banda. Cuando la partícula de árido tiene forma irregular con aristas cortantes se incrementa la hendidura y desprendimiento de pequeñas partes de la banda y su tiempo de vida útil disminuye aún más.

Selección del tipo de banda

Una vez conocida la tensión máxima que ha de soportar la banda, puede pasarse a seleccionar el tipo y resistencia de la carcasa que habrá de soportarla.

Coeficiente de seguridad

En las bandas transportadoras se consideran coeficientes de seguridad (S) elevados, ya que deben tener en cuenta los esfuerzos adicionales en servicio, tales como la flexión en los tambores, las irregularidades de reparto de las tensiones sobre la carcasa, las irregularidades en la carga, sobre tensiones de arranque, pérdida de resistencia en empalmes, impactos en la carga, envejecimiento de la banda, etc.

La norma DIN 22101 recomienda los siguientes (S), para bandas de carcasa textil: Anexo 1.4 Tabla 1.10

Lo normal es que el número de capas no sea superior a 5, por lo que en general se toman coeficientes del orden de 11 ó 12. Es preferible además, que el número de capas sea el menor posible, ya que con ello se consigue mayor flexibilidad de la banda y mejor acoplamiento de las capas durante el trabajo.

El coeficiente de seguridad depende también del tiempo en que la banda completa su recorrido, ya que de él dependen el número de flexiones en los tambores y los impactos de carga. En general, si no hay otros factores que puedan influir, puede disminuirse hasta en dos unidades, si el tiempo de recorrido es superior a 5 minutos.

Para las bandas de carcasa metálica, el coeficiente de seguridad que se recomienda, debe ser igual o superior a 8. También en este caso, si el tiempo de recorrido es superior a 10 minutos, este coeficiente puede disminuirse en una unidad.

Con ello, el número de capas textiles de refuerzo en una banda (z), vendrá dado por:

$$l = \frac{S \cdot Tm}{100 \cdot B \cdot R1} \quad (1.9)$$

En el caso de banda de carcasa metálica, la resistencia nominal de la banda (R_n) vendrá dada por:

$$R_n = \frac{S \cdot T_m}{100 \cdot B \cdot R_1} \quad (1.10)$$

Siendo:

z: número de capas textiles

S: coeficiente de seguridad

T_m : tensión máxima de trabajo de la banda; N.

B: ancho de la banda; m.

R: resistencia nominal de cada capa textil

R_n : resistencia nominal de la banda de carcasa metálica

Diámetro de los tambores

El diámetro de los tambores es un factor importante para el correcto funcionamiento de una instalación. Por una parte, determina el grado de esfuerzo al que va a estar sometida la banda en las flexiones que provoca su paso por ellos y, por otro, la superficie de contacto entre la banda y el tambor motriz ha de ser la suficiente para dar la fuerza de accionamiento necesaria evitando un tensionado excesivo.

Por esta razón, la norma DIN-22101, establece como diámetro mínimo del tambor de accionamiento para bandas textiles, el resultado de la siguiente expresión:

$$D = \frac{360 \cdot F}{P \cdot \pi \cdot \alpha} \quad (1.11)$$

Donde:

D: diámetro de tambor motriz; m.

F: fuerza de accionamiento en tambor motriz; N.

P: Capacidad de transmisión tambor/banda (1.600÷2.000 kg/m², en subterráneas, hasta 3.500)

α : ángulo de abrazado del tambor motriz; grados.

B: ancho de la banda; m.

Los diámetros normalizados Anexo 1.4 tabla 1.11

Bandas textiles

Son las bandas de uso más común. Están constituidas, por varias capas de tejidos engomados, para una buena adherencia, separadas por una capa de goma

intermedia que mejora su flexibilidad, recubiertas por capas de goma del grueso y calidad deseados según el trabajo a realizar y el tipo de material a transportar.

Denominación de las bandas textiles.

La denominación completa de una banda textil, incluirá la definición del ancho en mm, tipo de carcasa, espesores de recubrimientos y la letra identificativa de la calidad de las capas de cubierta, de esta forma:

1800 EP800/4 6+4 X

Indicará que se trata de una banda de 1800 mm de ancho, carcasa de poliéster-nylon de 800 N/mm de resistencia en 4 capas, espesor de recubrimientos 6 y 4 mm y calidad de recubrimiento "X" (ver el apartado Calidades de los recubrimientos).

También podría denominarse como:

1800 4EP200 6+4 X;

variante que indica que la carcasa está constituida por 4 capas de 200 N/mm de resistencia cada una.

Descripción de tipos de bandas textiles

Bandas Textiles Lisas

Son las más utilizadas por su versatilidad y economía. Las variantes posibles, tanto en la carcasa de refuerzo como en la calidad de las gomas de recubrimiento, hacen que se puedan adaptar prácticamente a todo tipo de transporte.

Pueden fabricarse en dos variantes:

Canto fundido: Incorporan goma en los laterales de la carcasa textil, que la protege tanto de posibles roces contra la estructura del transportador como del ataque de agentes agresivos con los que pueda estar en contacto la banda.

Canto cortado: Más económica y con plena garantía de funcionamiento. Se suministra, bien en ancho de hasta 1700 mm para cortar el propio usuario, o bien cortada a la medida de ancho que se solicite.

El uso de la banda transportadora lisa, puede estar limitado por el ángulo de inclinación del transporte (el límite puede situarse entre los 18 y los 20°). Cuando el ángulo sea superior, es recomendable utilizar bandas con algún tipo de soporte transversal del material (bandas nervadas, de tacos, entre otros).

Ancho máximo de fabricación de 2200 mm.

Las medidas y composiciones más usuales se dan en el Anexo 1.4 tabla 1.12.

Los anchos superiores suelen llevar mayores refuerzos, adaptados a las exigencias de su trabajo.

1.4. Propiedades físico - mecánicas de los áridos procesados

Las rocas que constituyen la materia prima del Yacimiento pertenecen a la formación geológica Bitirí, (Oligoceno superior-Mioceno inferior parte baja), corresponde a una secuencia de rocas carbonatadas representadas por calizas organodetríticas, organógenas (coralinas), estas pueden ser brechosas o no, y calizas estratificadas.

El Yacimiento tiene como unidad principal el Grupo Nipe, obtiene su nombre del puente natural del Río Bitirí o Buenaventura, Mayarí, provincia de Holguín; presenta una edad Oligoceno superior-Mioceno inferior parte baja y un espesor de 40m o más.

Existe un intenso desarrollo del carso, lo mismo superficialmente que subterráneo. Hacia la zona Este del yacimiento estas rocas contactan tectónicamente con un cuerpo de serpentinitas, las características del contacto denotan este origen, pues existe una zona de intensa brechosidad y agrietamiento en ambas litologías, dando lugar a un ángulo de inclinación del contacto en el entorno de los 30°. El yacimiento está dividido en cinco horizontes que van desde el +100 hasta el +60, en estos momentos solo se explotan dos de ellos el +80 y el +60 indistintamente. (Ver anexo 1.2 tablas 1.2 y 1.3)

El Horizonte +80 ocupa la parte central y occidental del yacimiento, el área del yacimiento limita desde el sureste por el contorno del segundo escalón de la actual cantera, desde el noroeste desde la isolinia +80 y por el norte con el contorno del cálculo de los recursos para la categoría medidos. El mineral útil esta presentado por la caliza brechosa organógena.

El Horizonte +60 ocupa toda el área del yacimiento explotado, el área del horizonte norte, sur y este, está limitada por las líneas de los contornos del cálculo de los recursos para la categoría medidos+ indicados y la del oeste parcialmente por la isolinia +60 y por la línea del contorno de la categoría indicado.

1.4.1. Características cualitativas de la materia prima

El yacimiento en cuestión se caracteriza por las variedades litológicas y sus diversas propiedades físico - mecánicas.

Las descripciones de las diferentes variedades de calizas se ofrecen a continuación:

Capa 1: Caliza organodetrítica de color blanco crema hasta rosado claro, presenta oquedades cársicas de diferentes dimensiones, fisuras y grietas rellenas de hierro y en ocasiones de calcita, se presenta masiva, en gran parte con textura brechosa, es de resistencia media. Es la variedad más extendida en el yacimiento, ocasionalmente se presenta recristalizada y marmolizada. (Ver anexo 1.5 tabla 1.15)

Capa 2: Caliza organógena, color blanco rosáceo, con manchas amarillentas, presenta abundantes restos fósiles de corales, conchas de bivalvos, se observa muy porosa con abundantes oquedades cársicas, es generalmente masiva, de resistencia baja. En algunos intervalos se alterna con una caliza margosa al parecer estratificada. (Ver anexo 1.5 tabla 1.16)

Capa 3: Caliza estratificada, color blanco crema, presenta tonalidades amarillentas, son rocas de resistencia media, compactas, de grano fino, en los planos de estratificación a veces se observa un material arcilloso carbonatado de color gris verdoso. Constituye la secuencia inferior del corte estratigráfico del yacimiento. (Ver anexo 1.5 tabla 1.17)

Áridos

Los áridos se emplean especialmente en la fabricación de morteros y hormigones, en la construcción de carreteras y como balasto para las vías férreas.

Dentro de los áridos es quizás el árido fino o arena el más importante por ser el que mayor volumen ocupa tanto en los hormigones hidráulicos, las mezclas asfálticas, morteros y prefabricados de todo tipo, correspondiéndole además el rango granulométrico más amplio. Por este motivo las arenas requieren ser procesadas con cuidado, precisándose en ocasiones, especialmente cuando van a ser empleadas en la fabricación de hormigones de alta resistencia o responsabilidad, una clasificación

interna en al menos dos fracciones para ajustar su granulometría a las necesidades de aplicación.

En la nueva normativa europea, se denominan finos a la fracción granulométrica inferior al tamaño 0.063 mm existentes en un árido. El contenido de finos en la arena se fija en 6% para áridos redondos y triturados no calizos y de 10% - 15% para áridos triturados dependiendo del ámbito de aplicación. Este valor se fijaba hace pocos años en un 5% de pasantes por el tamaño 0.074 mm (200 mallas), en la mayoría de los países.

Arena: es el resultado de la desintegración o trituración natural o artificial de las rocas, en forma de granos o partículas redondas, angulosas o laminares, correspondiendo a un tamaño máximo de 4.76 mm y como mínimo 0.149 mm.

Grava: roca triturada comprendida en las siguientes fracciones:

Grava de 3/8: de 5/13 mm y 5/10 mm.

Grava de 3/4: de 13/19 mm y 5/19 mm.

Grava de 1½: de 19 mm y 38 mm.

1.5. Descripción del flujo tecnológico

El material procesado en la planta procesadora de grava y arena “El Pílon” del municipio Mayarí, procede de la cantera con el mismo nombre ubicada en la parte oeste de la instalación a un 1 km de distancia. El material es transportado desde la cantera, hasta la planta procesadora, por medio de camiones de volteo Howo. El material se descarga directo a la tolva de recepción, la cual se encuentra conformada por chapas y perfiles y tiene una capacidad de 36 m³, el material es recepcionado entre los laterales de la tolva y un alimentador vibrante modelo 1100 X 4900 con una capacidad de 28 m³. Una parte del material ingresa al triturador de mandíbulas (GRANIER MSN1070), el cual descarga en el transportador (TR-1) y el resto es transportado desde el alimentador a la criba 1 (GRANIER CVN 300) por medio del transportador (TR-3) donde es clasificado y la parte del material que no cumple con los requisitos de granulometría adecuados es llevado hacia el deposito estéril por el transportador (TR-2) y el resto retorna mediante el transportador (TR-4) al (TR-1) con

destino a la criba 2 (GRANIER CVN 630) en la cual el material luego de ser clasificado pasa a los transportadores TR-7 (retorno al remolador PF1210), TR-12 (retorno al remolador GRANIER MA 90 X 90) y el material con la granulometría adecuada pasa a través del transportador (TR-6) a la criba (3YK 1860) en la cual el material se separa en 3 de los diferentes productos que se producen en esta instalación, por medio de los transportadores TR-8 (grava 3/8); TR-9 (arena) la cual pasa antes por un sinfín lavador (GRANIER TL 36 X25 SS) y TR-10 (grava 3/4). El material que ingresa al TR-12 pasa al remolador (GRANIER MA 90 X 90), el cual también es alimentado por el transportador (TR-15) que procede de otra tolva de alimentación secundaria. Luego de pasar al remolador (GRANIER MA 90 X 90) una parte retorna a la criba 2 y el resto pasa a la criba 4 (SKET 1250 X 4000) por medio del transportador (TR-11) para extraer polvo de piedra que es el otro producto que se obtiene en la instalación analizada y el resto del material que no cumple con las normas de granulometría adecuadas retorna al remolador (GRANIER MA 90 X 90) por medio del transportador (TR-13).

1.6. Conclusiones del capítulo

- Se escoge para el trabajo la metodología de (Sierra, 2010 y Oriol y Aguilar 1995) por el grado de actualidad y precisión observado.
- Se pone de manifiesto que los transportadores utilizados en los esquemas tecnológicos de la instalación analizada tienen bajo nivel de utilización de su capacidad de carga (hasta 30 %) y grandes pérdidas de energía dado por el bajo nivel de aprovechamiento de su potencia instalada e inadecuada potencia de diseño.
- El diseño actual de los transportadores empleados para el transporte de los áridos procedentes de las canteras se realiza con el empleo de metodologías que no relacionan los parámetros que definen las propiedades físico-mecánicas de las rocas y aluviones extraídos (áridos).

CAPÍTULO II. Materiales y métodos

2.1. Introducción

La utilización continua de los métodos de cálculo para el diseño y selección de equipos de transporte continuo, requiere de perfeccionamiento sistemático para la implementación con niveles de precisión adecuados y suficientes para que respondan a los intereses de los usuarios.

Se escoge la opción del cálculo de los transportadores de banda según el objetivo del trabajo que es la verificación de los parámetros tecnológicos del mismo. Se instituye el algoritmo y la metodología de cálculo de los transportadores según (Sierra, 2010 y Oriol y Aguilar, 1995), así como los datos necesarios para efectuar el mismo; es decir, a partir de la productividad.

Se construyen los esquemas de cálculos de cada transportador y se realiza la modelación de cada esquema que permite determinar la potencia de accionamiento más racional. Se realiza la modelación de los rodillos de apoyo y la selección del accionamiento de cada transportador.

Se divide el transportador en tramos característicos, es decir, tramos rectos y curvos y se enumeran de acuerdo a sus puntos particulares. Para cada tramo recto se determina la resistencia al movimiento de la banda así como en los puntos específicos de carga, descarga y limpieza. Luego se determinan las tensiones para poder obtener la potencia del accionamiento de acuerdo a las condiciones reales. Finalmente se establece el procedimiento de mantenimiento del transportador.

Objetivo del capítulo

Identificar los procedimientos de cálculo más adecuados para la determinación de los parámetros tecnológicos de los transportadores de banda que más se ajuste a las condiciones de explotación. Construir los esquemas de cálculo de cada transportador que integra el flujo tecnológico. Modelar los parámetros tecnológicos de cada esquema de cálculo de los transportadores de banda utilizados en la planta procesadora de grava y arena “El Pílon”. Establecer el sistema de mantenimiento adecuado a los transportadores de banda para áridos.

2.2. Metodología de cálculo para transportadores de banda utilizada

Durante el cálculo de los transportadores de banda se pueden presentar dos casos posibles:

1. Proyectar un nuevo transportador en el cual se conocen algunos de los datos de la empresa en cuestión.
2. La comprobación de un transportador ya instalado, comparándolo con otro que ya se conocen, o simplemente cálculos que se realizan para conocer sus parámetros desconocidos.

Para el caso particular del presente trabajo analizaremos el segundo caso. Durante el mismo tendremos el siguiente orden de cálculo.

1. Podemos tener como dato la productividad y en ese caso determinaremos el ancho de la banda necesario. El ancho de la banda escogido de la productividad debe ser menor que su ancho real. También puede ocurrir que conozcamos el ancho de la banda y en este caso calculamos la productividad de los transportadores.
2. Se determina la resistencia a la marcha del transportador.
3. Se determinan las tensiones en los puntos característicos del transportador.
4. Se controla la resistencia de la banda.
5. Se determina el esfuerzo del mecanismo de tensión.
6. Se realizan los cálculos complementarios como: La determinación de la flecha máxima, el alargamiento de la banda, relación de los diámetros de los tambores motrices en el caso de que existan más de uno en la instalación motriz.
7. Se determina la potencia del motor y se escoge el mismo según los catálogos.
8. Se determinan los gastos de energía eléctrica durante la transportación.

Para llevar a cabo este cálculo es necesario tener una serie de datos como son:

1. La productividad de la empresa o de una parte de ella, o el ancho de la banda.

2. La longitud del transportador.
3. El perfil del transportador y su traza.
4. El peso volumétrico del material a transportar [t/m^3].
5. El ángulo del talud del material.
6. El tiempo de trabajo al año.

2.3. Determinación de los diferentes parámetros según el orden establecido por la metodología de cálculo

Si conocemos la velocidad de movimiento de la banda (v) del transportador instalado (de no conocerlo es posible medirla) podemos calcular el ancho de la banda necesario para mantener dicha productividad.

2.3.1. Cálculo del ancho de banda conociendo la productividad

El ancho de la banda de un transportador según (Dimitriev, 1982; Spivakoski y Potapov, 1983; Lamber, 1990; Vasiliev et al, 2006; Alonzo, 2002) se determinan en función de la productividad Q del transportador, de la velocidad de movimiento de la banda (v ; m/s), de la masa volumétrica del material transportado (γ ; t/m^3) y de la inclinación del transportador en el sentido ascendente de la carga (β); coeficiente (ψ) y del coeficiente constructivo K el cual esta tabulado. El valor del coeficiente K dado en la literatura se elige de forma aproximada y en correspondencia con la geometría y dimensiones de la artesa.

Según (Sierra, 2009) al analizar diferentes disposiciones del órgano portador de la carga (banda) sobre los apoyos de rodillos (tipos de artesa), se observa que las áreas transversales del flujo de carga son diferentes para un mismo ancho de banda, lo cual se puede alcanzar con diferentes combinaciones de la longitud de los rodillos y sus ángulos de inclinación de estos con respecto a la horizontal.

(Sierra, 2010) obtiene la siguiente ecuación para la determinación del ancho de la banda:

$$B = 1,1 \cdot \left(\sqrt{\frac{Q}{K \cdot v \cdot \psi \cdot \gamma}} + 0,05 \right), [m] \quad (2.1)$$

Donde:

B: ancho de la banda; m.

Q: productividad del transportador; t/h.

ψ : coeficiente que tiene en cuenta la disminución de la productividad debido al ángulo de inclinación del transportador.

γ : masa volumétrica del material transportado; t/m³

v: velocidad del movimiento de la banda; m/s.

K: coeficiente constructivo o de forma.

Se estandariza el ancho de banda tomando un valor igual o mayor al resultado obtenido.

Tabla 2.1 Valores estándar para el ancho de banda.

Ancho de la banda B, mm.

300	400	500	650	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------

Normalización del ancho de banda.

Del análisis granulométrico se obtiene:

Tamaño máximo del mineral $T_{max} = 600 \text{ mm}$

Tamaño mínimo del mineral $T_{min} = 0,149 \text{ mm}$

Tamaño medio del mineral $T_e = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} = 300,07 \text{ mm}$

$$k = \frac{T_{max}}{T_{min}} \quad (2.2)$$

$$k = 4026,85 \text{ mm}$$

Como el valor de k > 2,5 la carga se denomina no clasificada (ordinaria).

Se calcula la velocidad real a la cual se moverá la banda para este nuevo valor del ancho de banda normalizado de la misma.

Luego es determinado el valor óptimo del ancho de banda estandarizado según el tamaño de las partículas del material a transportar según sea el tipo de carga:

- Para las cargas ordinarias compuestas por pedazos grandes en un 15% de la masa total $B \geq (2,3 \text{ a } 2,5) \cdot T_{max}$, [mm]
- Para cargas clasificadas con contenido principal de pedazos de un tamaño determinado (a) en una proporción de aproximadamente el 80% de la masa total $B \geq (3,3 \text{ a } 4,5) \cdot T_e$, [mm]

Si el valor estandarizado del ancho de banda no satisface las condiciones anteriores, entonces se seleccionará de forma estándar el ancho de banda inmediato superior que cumpla la condición.

Con el valor del ancho de banda estandarizado calculamos la velocidad (V_R) a la cual realmente se debe mover la banda para mantener esta productividad.

$$v_r = \frac{Q}{(0.9 \cdot B - 0.05)^2 \cdot \gamma \cdot \psi \cdot K}, \text{ [m/s]} \quad (2.3)$$

Luego de obtener el valor de la velocidad real se verifica la banda con ayuda del período de la misma.

$$T = \frac{L}{30 \cdot v_r}, \text{ [min]} \quad (2.4)$$

Donde:

L: longitud total de la banda del transportador; m

2.3.2. Determinación de la resistencia a la marcha del transportador

Para determinar la resistencia a la marcha del transportador primeramente debemos determinar los valores de los siguientes parámetros.

- Peso lineal de la banda [q_b].
- Peso lineal de los rodillos de apoyos [q_r' y q_r''].

➤ Peso lineal de la carga [q].

Determinación del peso lineal de la banda

El peso lineal de la banda lo determinamos según la siguiente ecuación:

$$q_b = B \cdot (q'_b \cdot \delta \cdot i + q''_b \cdot \delta_1 + q''_b \cdot \delta_2), \text{ [N/m]} \quad (2.5)$$

Donde:

B : ancho de banda, (según oferta).

σ : resistencia a la rotura (según oferta).

δ : espesor de la capa (Oriol y Aguilar, 1995).

δ_1 : espesor recubrimiento superior (según oferta).

δ_2 : espesor recubrimiento inferior (según oferta).

i : cantidad de capas (según oferta).

q_b : peso lineal de la banda; N/m

q'_b : peso de la capa (según Oriol y Aguilar, 1995).

q''_b : peso de la capa (según Oriol y Aguilar, 1995).

Determinación del peso lineal de la carga

$$q_c = \frac{Q \cdot g}{3,6 \cdot V_r}, \text{ [N/m]} \quad (2.6)$$

Donde:

g : aceleración de la gravedad; m/s²

Determinación del peso lineal de los rodillos de apoyo

Para la rama cargada

$$q_r' = \frac{G_r'}{l_r'}, [\text{N/m}] \quad (2.7)$$

Para la rama vacía

$$q_r'' = \frac{G_r''}{l_r''}, [\text{N/m}] \quad (2.8)$$

Donde:

G_r' y G_r'' : peso de los apoyos de rodillos en la rama cargada y vacía respectivamente; [N]

l' y l'' : distancia entre rodillos de apoyo en la rama cargada y vacía respectivamente; [m]

$$l' = (0,9 - 1,5); [\text{m}]$$

$$l'' = 2 \cdot l'$$

Rodillos superiores

$$l' = 1\text{m}$$

$$G_r' = 210\text{N}$$

Rodillos inferiores

$$l'' = 2\text{m}$$

$$G_r'' = 205\text{N}$$

Se divide el contorno del transportador en tramos característicos, es decir, tramos rectos y curvos y estos a su vez se enumeran de acuerdo a sus puntos característicos. En los tramos rectos entre los puntos característicos la resistencia a la marcha la calculamos según:

a) Para la rama cargada:

$$W_c = \{[(q_b + q) \cos \beta + q_r'] \omega' L \pm (q + q_b) L \cdot \sin \beta\}, [\text{N}] \quad (2.9)$$

Donde:

β : ángulo de inclinación del tramo en cuestión; [grados]

L: longitud del tramo; [m]

ω' : coeficiente de resistencia al movimiento, (Oriol y Aguilar, 1995)

b) Para la rama vacía:

$$Wc = \{[q_b \cos \beta + q_r']\omega' L \pm (q_b)L \cdot \sin \beta\}, [N] \quad (2.10)$$

Podemos considerar entonces:

$\omega' = 0,035$: para rodillos planos de la rama vacía en condiciones de operación adversas y $\omega' = 0,040$: para rodillos acanalados de la rama cargada en condiciones de operación adversas. El signo (+) se utiliza cuando el movimiento es ascendente y el signo (-) cuando el movimiento es descendente.

En los tramos curvilíneos se pueden dar los siguientes casos:

1. Que la banda bordeee los tambores motrices.
2. Que la banda bordeee los tambores de desvío o de retorno.
3. Que la banda bordeee una zona transitoria o de cambio de pendiente. Esta puede ser con la convexidad hacia arriba o con la convexidad hacia abajo.
4. Que la banda varíe en trayectoria según su traza. Estos son casos que no analizaremos.

Para ver el primero observemos la siguiente figura.

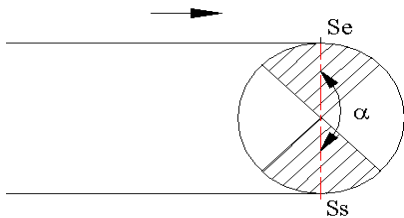


Figura 2.1 Banda bordeando el tambor motoriz.

Como se ha mostrado anteriormente el esfuerzo que se transmite a la banda viene dado por la diferencia de tensiones a la entrada y a la salida, además que la distribución de tensiones no es uniforme y que está condicionada por el ángulo de deslizamiento de la banda sobre el tambor por lo que el esfuerzo no se transmite a la banda en todo el arco abrazado, sino solamente en el límite del arco donde existe el deslizamiento de la banda sobre el tambor.

Por tanto la resistencia al movimiento en tambor motor es igual al esfuerzo transmitido.

$$W_{tm} = S_e - S_s \quad (2.11)$$

$$\text{Como } S_e = S_s \cdot e^{f \cdot \alpha \cdot des}$$

Entonces sustituyendo en la ecuación anterior.

$$W_{tm} = S_s \cdot (e^{f \cdot \alpha \cdot des}) \quad (2.12)$$

O expresándola en función de la tensión de entrada

$$W_{tm} = S_e \cdot \frac{e^{f \cdot \alpha \cdot des} - 1}{e^{f \cdot \alpha \cdot des}} \quad (2.13)$$

Donde, F : Coeficiente de fricción entre la banda y el tambor, S_e : Tensión de entrada, S_s : Tensión de salida, α : ángulo de deslizamiento, W_{tm} : Resistencia al movimiento en el tambor motriz.

En el caso que la banda bordee los tambores de desvío o de retorno.

$$W_{tm} = S_s - S_e \quad (2.14)$$

Esto se debe a que la banda es la que mueve al tambor, por tanto a la salida es donde debe haber un mayor esfuerzo.

$$S_s = S_e \cdot e^{\omega_t \cdot \alpha} \quad (2.15)$$

Donde, ω_t : coeficiente de resistencia al movimiento de los rodamientos o cojinetes del tambor, α : ángulo de abrazado por la banda del tambor.

Por tanto:

$$W_{td} = S_e \cdot (e^{\omega_t \cdot \alpha} - 1) \quad (2.16)$$

En los **puntos de carga la resistencia** se determina por la fórmula:

$$W_{dc} = C \cdot \frac{q \cdot (V - V_0) \cdot V}{g} \quad (2.17)$$

Donde, C: coeficiente que tiene en cuenta la fricción de la carga con la banda y los bordes guías de la tolva. Varía de 1,3 a 1,4; V: velocidad de la banda, V₀: velocidad de la carga en la dirección del movimiento.

Cuando el material cae en dirección perpendicular V₀ = 0 por lo que

$$W_{dc} = C \cdot \frac{q \cdot V^2}{g}, N \quad (2.18)$$

En este caso es cuando la banda tiene mayor resistencia al movimiento.

En los **puntos de descarga la resistencia** se determina por la fórmula:

$$W_{dd} = C^1 \cdot B \cdot q_c \quad (2.19)$$

La resistencia en los **dispositivos de limpieza** se puede calcular por la fórmula.

$$W_{dl} = q_1 \cdot B, [N] \quad (2.20)$$

q₁: resistencia específica del dispositivo de limpieza. Para raspadores y arados de limpieza q₁ toma valores entre 30 y 50 N/m. Para el caso particular del transportador de banda objeto de estudio el dispositivo de limpieza es un raspador y se toma q₁ = 50 N/m.

2.3.3. Determinación de la tensión de la banda

En general podemos decir que la tensión en cada punto posterior, según el movimiento de la banda es igual a la tensión en el punto anterior más la resistencia al movimiento en este tramo. En esto consiste el método, el cual se puede representar según la fórmula:

$$S_n = S_{n-1} + \sum W, [\text{N}] \quad (2.21)$$

2.3.4. Construcción del esquema de cálculo según proceso tecnológico

En el caso particular del presente trabajo, el esquema de cálculo correspondiente a los transportadores analizados es el mismo, debido a las características de la instalación de procesamiento de áridos, objeto de estudio. La diferencia entre estos transportadores está dada en este caso, por las longitudes de los mismos y el ángulo de inclinación.

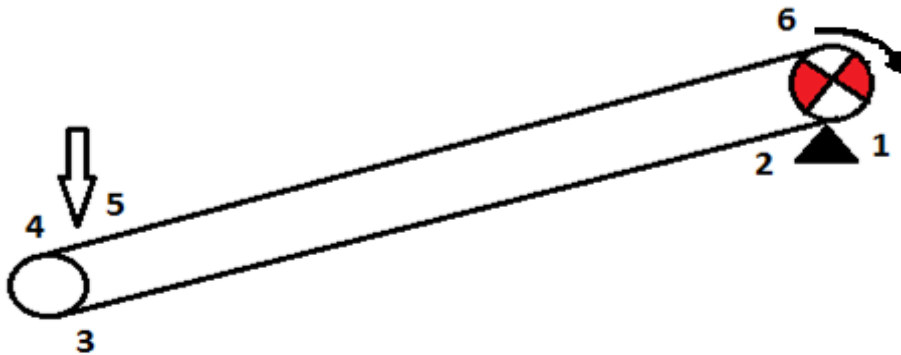


Figura 2.2 Perfil de cálculo de los transportadores analizados, excepto el TR-13.

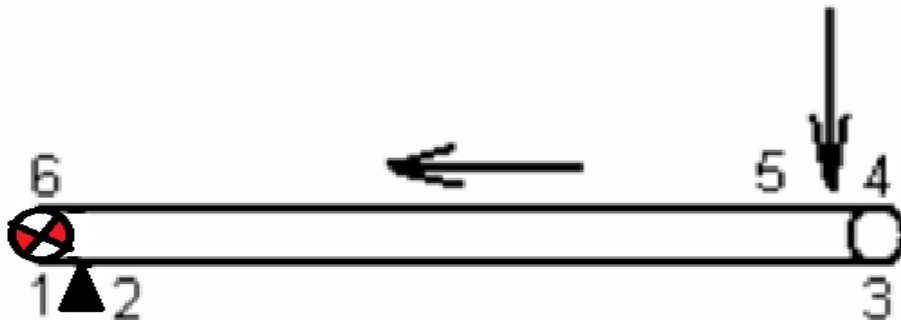


Figura 2.3 Perfil de cálculo del transportador TR-13.

Modelación de los parámetros tecnológicos para cada esquema de cálculo

El perfil del transportador se divide en tramos característico, es decir, tramos rectos horizontales e inclinados y tramos curvos. Se realiza la numeración de los puntos que limitan los tramos, iniciando el punto número 1 el de salida del tambor motor.

Entonces según la fórmula de la tensión para nuestro caso tenemos:

$$S_1 = ?$$

$$S_2 = S_1 + W_{1-2}$$

$$S_3 = S_1 + W_{1-2} + W_{2-3}$$

$$S_4 = K_t^{180} \cdot S_3 = K_t^{180} \cdot S_1 + K_t^{180} \cdot (W_{1-2} + W_{2-3})$$

$$S_5 = K_t^{180} \cdot S_4 + K_t^{180} \cdot (W_{1-2} + W_{2-3}) + W_{4-5}$$

$$S_6 = K_t^{180} \cdot S_5 + K_t^{180} \cdot (W_{1-2} + W_{2-3}) + W_{4-5} + W_{5-6}$$

$$S_6 = S_1 \cdot e^{(\mu \cdot \alpha)} \quad (2.22)$$

$$e^{\mu \cdot \alpha} = 3,51 \text{ (según Oriol y Aguilar, 1995)}$$

Determinación de la flecha entre rodillos

La flexión máxima entre los rodillos de la rama cargada se determina por la siguiente fórmula:

$$F_{m\acute{a}x} = \frac{(q_c + q_b) \cdot l^2}{8 \cdot S_{min} tr} \quad (2.23)$$

$S_{min} tr$ - tensión mínima a la que está sometida la banda en la rama de trabajo:

$$S_{min} tr = (10 - 5)(q_c + q_b) \cdot l_r ; [N] \quad (2.24)$$

Por las reglas de explotación se ha tenido que:

$$F_{m\acute{a}x} = (0,0125 - 0,025) l^* \quad (2.25)$$

$$S_{min} tr \leq Si$$

Si : Tensión mínima en la rama de trabajo. Correspondiendo los menores valores para la banda de goma – cable.

Cálculo de la fuerza necesaria en los atesadores de tornillo

$$Wt = \frac{S_5 + S_6}{2} \quad (2.26)$$

Determinación del tiraje efectivo

W_0 : Esfuerzo de tracción en el tambor motriz, [N]. Su valor en este caso se tomará igual:

$$W_0 = (S_e - S_s) + (0,05 - 0,06)(S_e + S_s), \text{ [N]} \quad (2.27)$$

Donde:

S_e : tensión de entrada, [N]

S_s : tensión de salida, [N]

Determinación de la resistencia de la banda

Para bandas de goma con fibras sintéticas se determina el número de capas.

$$i = \frac{S_{\max} \cdot K}{S_{rot} \cdot B \cdot Ku} \quad (2.28)$$

Donde:

i : es el número de capas que tiene la banda para evitar su rotura al estar sometida a una función igual a S_{\max} .

S_{\max} : tensión máxima a la que está sometida la banda; [N]

$K = 8$ coeficiente de seguridad (según Oriol y Aguilar, 1995)

$K_u = 0,6$ coeficiente debido a que es una unión mecánica (Oriol y Aguilar, 1995).

S_{rot} : límite de resistencia a la rotura; N/cm.

Si el número de capas tomado para el cálculo de las resistencias es menor que el obtenido, entonces hay que cambiar el tipo de banda o hay que calcular nuevamente las resistencias y las tensiones pero con el número hallado.

En caso contrario no es necesario volver hacer el cálculo.

2.3.5. Selección de los rodillos de apoyo de los transportadores de banda determinados en función de la carga

Para la selección de un rodillo según ROCMAN se determina la carga sobre este **Kr**:

$$Kr = Gr + L1 \cdot \left(q_c + \frac{q}{3,6 \cdot v}\right) \cdot Fc \cdot Fi \cdot Fv \quad (2.29)$$

Donde:

Gr; peso de la parte rodante de los rodillos (kg) que es el 70% del peso del rodillo.

L1; separación entre dos rodillos o estaciones de rodillos (m).

Tabla 2.2 Distancia entre rodillos según Rocman catálogo

	superiores		
ancho de la banda	peso específico del material		Inferiores
	>0,6	<0,6	
400	1,35	1,35	3
500	1,35	1,20	3
650	1,20	1,10	3
800	1,20	1,00	3
1000	1,00	1,00	3
1200	1,00	1,00	3
1400	1,00	1,00	3
1600	1,00	1,00	3
1800	1,00	1,00	3
2000	1,00	1,00	2,4

Tabla 2.3 Peso de la banda

Ancho de la banda	Peso	Espesor
400	4	8
500	5	8
650	6,5	8
800	8,5	8,5
1000	13	11
1200	15,5	11
1400	18	11
1600	25	13
1800	30	14
2000	33	14

Tabla 2.4 Diámetro de los rodillos según la velocidad de la banda

velocidad de la banda	ø(mm) del rodillo						
0,25	75	53	47	44	36	30	24
0,50	150	107	90	88	72	60	49
0,75	225	161	141	132	107	90	74

1	300	214	188	176	143	120	98
1,25	376	268	235	22	179	150	123
1,50	451	322	282	265	215	180	148
1,75	526	375	329	309	309	251	172
2	601	429	376	353	353	287	197
2,25	676	483	423	398	398	323	222
2,50	452	536	470	442	442	359	246
2,75	827	590	517	486	395	330	271
3	902	643	564	530	430	360	295
3,25	977	697	611	574	466	390	320
3,50	1052	758	658	619	502	420	345
4	1203	858	752	707	574	480	394
4,50	1278	912	799	751	610	510	419
5	1503	1073	940	884	718	600	493
Se recomienda no superar las 650 r.p.m							

Tabla 2.5 Factor de carga.







0° 	20° 	20° 	30° 	35° 	45° 
Fc=1	Fc=0,55	Fc=0,60	Fc=0,63	Fc=0,66	Fc=0,70

Tabla 2.6 Factor de impacto.

Tamaño del Material	Velocidad de la banda		
	<2.5 m/s	2.5 a 4 mm	4 a 5 mm
<100 mm	1	1	1
175 a 300 mm	1,025	1,060	1,110
175 a 300 mm	1,075	1,140	1,280
325 a 500 mm	1,260	1,600	2,100

Tabla 2.7 Factor de vida de los rodillos

Factor de vida (Fv)					
Horas de funcionamiento	10,000	20,000	30,000	40,000	50,000
Fv	0,70	0,87	1	1,10	1,18

2.3.6. Selección del accionamiento de cada transportador

Los elementos que integran el accionamiento de un transportador se muestran en la figura 2.3

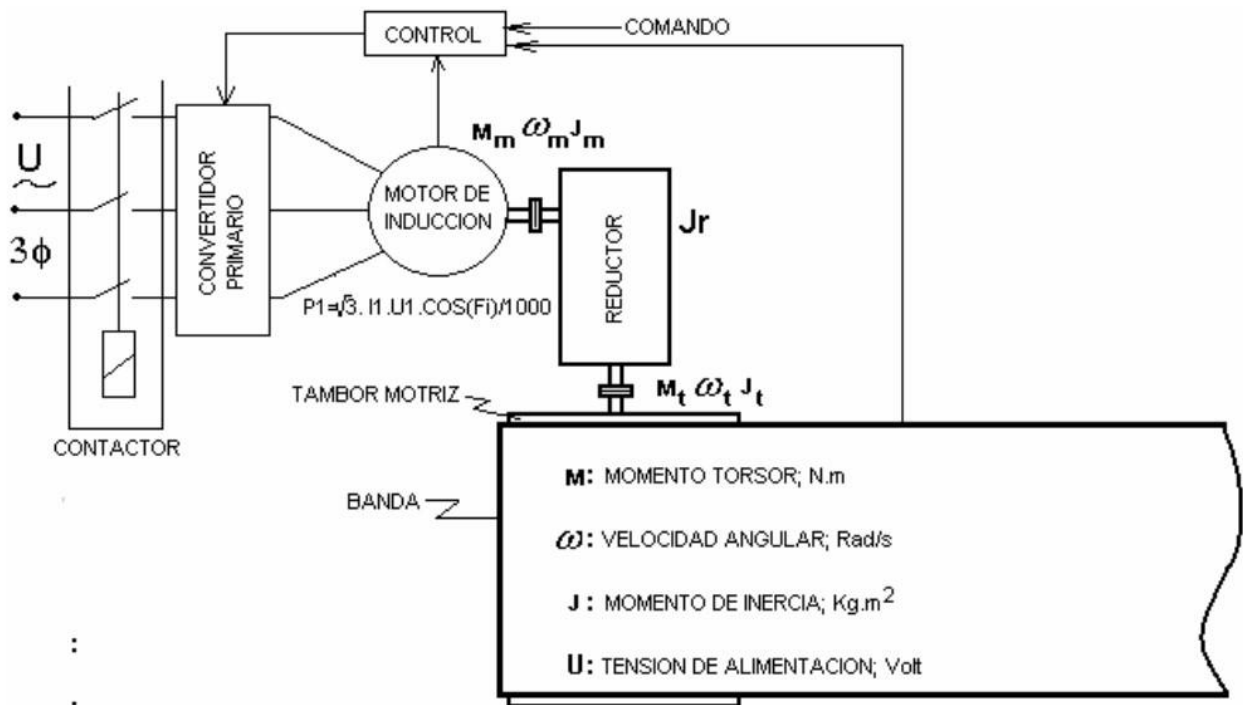


Figura 2.3 Esquema general del accionamiento electromecánico de un transportador de banda según (Sierra, 2010).

Todos los transportadores tienen accionamientos similares y la modelación de sus parámetros se establece a través del siguiente modelo.

Para seleccionar el accionamiento se realiza a través del siguiente algoritmo:

1) Determinación de la potencia del tambor motor

$$P_t = \frac{W \cdot v}{1000} \cdot K_r; \text{ kW} \quad (2.30)$$

2) Selección del rendimiento de la transmisión de fuerza

Los transportadores de banda utilizan reductores de velocidad de construcción cerrada con lubricantes líquidos. Según (Reshetov, 1985) para engranajes cilíndricos y séptimo grado de precisión; el rendimiento se toma igual a 98 %. Considerando el rendimiento en los acoplamientos igual al 100 % y en el tambor y la banda según (Dobrovolki et al, 1985) igual 98 %.

Entonces el rendimiento total del accionamiento del transportador de acuerdo a la figura 2.3 es:

$$\eta_{Tr} = n_a \cdot \eta_a \cdot n_e \cdot \eta_e \cdot \eta_T \cdot \eta_M \quad (2.31)$$

Donde:

na: número de acoplamientos de un mismo tipo

η_a : rendimiento del acoplamiento; $\eta_a=1,00$

n_e : número de escalones

η_e : rendimiento del escalón; $\eta_e=0,98$

η_T : rendimiento entre el tambor y la banda. Según (Dobrovolki et al, 1985) $\eta_T=0,98$

η_M : rendimiento del rotor del motor; $\eta_M=1,00$

3) Determinación de la potencia del motor

$$P_2 = \frac{P_t}{\eta_{Tr}}; \text{ kW} \quad (2.32)$$

4) Selección del motor

El motor se selecciona de acuerdo a los catálogos con los siguientes parámetros

- Tipo de motor
- Potencia nominal; kW
- Velocidad angular nominal ω_n ; rad/s.
- Momento de inercia I ; $\text{kg}\cdot\text{m}^2$.
- Tensión eléctrica nominal V_n ; V
- Corriente nominal I_n ; A
- Momento de arranque; N·m

5) Determinación de la relación de transmisión total (i_T)

$$i_T = i_{RED} \cdot i_{ACOP} \cdot i_{TM} \quad (2.33)$$

Donde:

i_{RED} : relación de transmisión del reductor, que depende del número de escalones y de sus parámetros cinemáticos.

$$i_{RED} = \prod_{i=1}^{n_e} (i_i) \quad (2.34)$$

i_i : relación de transmisión en el escalón i .

i_{ACOP} : relación de transmisión en los acoplamientos, en este caso la consideramos igual a 1.

i_{TM} : relación de transmisión en el tambor motor

$$i_{TM} = \frac{\omega_n}{v} \cdot R_t \quad (2.35)$$

R_t : radio del tambor motor; m

6) Cálculo de las transmisiones sistema de fuerza

El momento de entrada al reductor se determina por:

$$M_{RED}^{ENT} = \frac{Pn}{\omega_m}; \text{ N}\cdot\text{m} \quad (2.36)$$

El momento de salida al reductor se determina por

$$M_{RED}^{SAL} = \frac{Pn}{\omega_m} \cdot i_{RED}; \text{ N}\cdot\text{m} \quad (2.37)$$

El momento desarrollado en el tambor motor se determina por

$$M_{TAMB}^{MOT} = \frac{Pn}{\omega_m} i_{RED} \cdot i_{TM}; \text{ N}\cdot\text{m} \quad (2.38)$$

2.4. Establecimiento del sistema de mantenimiento

En todas las instalaciones industriales el mantenimiento desempeña un papel fundamental en el funcionamiento eficiente de las máquinas, con el mantenimiento se aumenta la vida útil del equipo y su longevidad.

2.4.1. Generalidades del análisis de criticidad

Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. Para realizar un análisis de criticidad se debe: definir un alcance y propósito para el análisis, establecer los criterios de evaluación y seleccionar un método de evaluación para jerarquizar la selección de los sistemas objeto del análisis.

Desde el punto de vista matemático la criticidad se puede expresar como:

Criticidad = Frecuencia x Consecuencia

Donde la frecuencia está asociada al número de eventos o fallas que presenta el sistema o proceso evaluado y, la consecuencia está referida con: el impacto y flexibilidad operacional, los costos de reparación y los impactos en seguridad y ambiente. En función de lo antes expuesto se establecen como criterios fundamentales para realizar un análisis de criticidad los siguientes:

- Seguridad
- Ambiente
- Producción
- Costos (operacionales y de mantenimiento)
- Tiempo promedio para reparar
- Frecuencia de falla

El establecimiento de criterios se basa en los seis (6) criterios fundamentales mencionados. Para la selección del método de evaluación se toman criterios de ingeniería, factores de ponderación y cuantificación. Para la aplicación de un procedimiento definido se trata del cumplimiento de la guía de aplicación que se haya diseñado. Por último, la lista jerarquizada es el producto que se obtiene del análisis. Emprender un análisis de criticidad tiene su máxima aplicabilidad cuando se han identificado al menos una de las siguientes necesidades:

- Fijar prioridades en sistemas complejos
- Administrar recursos escasos
- Crear valor
- Determinar impacto en el negocio
- Aplicar metodologías de confiabilidad operacional

El análisis de criticidad aplica en cualquier conjunto de procesos, plantas, sistemas, equipos y/o componentes que requieran ser jerarquizados en función de su impacto en el proceso o negocio donde formen parte.

Mendoza (2001) plantea que al desarrollar un análisis de criticidad sus áreas comunes de aplicación se orientan a establecer programas de implantación y prioridades en los siguientes campos:

- Mantenimiento
- Inspección
- Materiales
- Disponibilidad de planta
- Personal

En el ámbito de mantenimiento

Al tener plenamente establecido cuales sistemas son más críticos, se podrá establecer de una manera más eficiente la priorización de los programas y planes de mantenimiento de tipo: predictivo, preventivo, correctivo, detectivo e inclusive posibles rediseños al nivel de procedimientos y modificaciones menores; inclusive permitirá establecer la prioridad para la programación y ejecución de órdenes de trabajo.

En el ámbito de inspección

El estudio de criticidad facilita y centraliza la implantación de un programa de inspección, dado que la lista jerarquizada indica donde vale la pena realizar inspecciones y ayuda en los criterios de selección de los intervalos y tipo de inspección requerida para sistemas de protección y control (presión, temperatura, nivel, velocidad, espesores, flujo) así como para equipos dinámicos, estáticos y estructurales.

En el ámbito de materiales

La criticidad de los sistemas ayuda a tomar decisiones más acertadas sobre el nivel de equipos y piezas de repuesto que deben existir en el almacén central, así como los requerimientos de partes, materiales y herramientas que deben estar disponibles en los almacenes de planta, es decir, podemos sincerar el *stock* de materiales y repuestos de cada sistema y/o equipo logrando un costo óptimo de inventario.

En el ámbito de disponibilidad de planta

Los datos de criticidad permiten una orientación certera en la ejecución de proyectos, dado que es el mejor punto de partida para realizar estudios de inversión de capital y renovaciones en los procesos, sistemas o equipos de una instalación, basados en el área de mayor impacto total, que será aquella con el mayor nivel de criticidad.

A nivel del personal

Un buen estudio de criticidad permite potenciar el adiestramiento y desarrollo de habilidades en el personal, dado que se puede diseñar un plan de formación técnica, artesanal y de crecimiento personal, basado en las necesidades reales de la instalación, tomando en cuenta primero las áreas más críticas, que es donde se concentra las mejores oportunidades iniciales de mejora y de agregar el máximo valor.

Sistema de componentes a analizar del equipo

1. Banda
2. Rodillos
3. Tamboras

4. Accionamientos

2.4.2. Análisis de criticidad

El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable.

La jerarquía de activos define el número de elementos o componentes de una instalación y/o planta en agrupaciones secundarias que trabajan conjuntamente para alcanzar propósitos preestablecidos.

Una vez que se tiene en cuenta donde se va a centrar el análisis se determina el nivel de criticidad mediante la fórmula:

$$\text{Criticidad} = \{(TPPR \cdot IP) + CR + IS + IA\} \cdot FF \quad (2.38)$$

Donde:

TPPR - Tiempo promedio para reparar

IP - Impacto en la producción

CR - Costo en la reparación

IS - Impacto en la seguridad

IA - Impacto ambiental

FF - Frecuencia de falla

Para determinar el valor de cada uno de los criterios de importancia presentes en la ecuación 1 es necesario plantear una guía de criticidad la cual ayudará a determinar el valor final de criticidad, la cual se demuestra a continuación.

Tabla 2.8. Guía de Criticidad

Frecuencia de falla (todo tipo de falla)	Puntaje
No más de 1 por año	1
Entre 2 y 8 por año	3
Entre 9 y 40 por año	4
Más de 41 por año (Más de 1 interrupción semanal)	6
Tiempo promedio para reparar (TPPR)	Puntaje
Menos de 3 horas	1
Entre 4 y 6 horas	2
Entre 7 y 20 horas	4
Más de 20 horas	6

Impacto en Producción (por falla)	Puntaje
No afecta Producción	1
25% de Impacto	1.3
50% de Impacto	1.5
75% de Impacto	1.8
La Impacta Totalmente	2
Coste de reparación	Puntaje
Menos de 1000 USD	5
Entre 1000 y 5000 USD	7
Entre 5100 y 10 000 USD	12
Más de 10 000 USD	20
Impacto en la Seguridad Personal	Puntaje
SI	30
NO	0
Impacto Ambiental (Daños a terceros, fuera de la instalación)	Puntaje
SI	20
NO	0

Conocida las características en cuanto a los criterios de importancia y quedando planteada la guía de criticidad, se realiza la encuesta para determinar el valor de la criticidad.

2.4.3. Estado técnico en el mantenimiento preventivo planificado

En el mantenimiento preventivo planificado el procedimiento que se sigue para la determinación del estado técnico es muy sencillo y útil, al terminarse la revisión previa, se hace una valoración del equipo que puede ser de buena, regular, mala o muy mala. Para esto es necesario determinar el porcentaje de eficiencia del equipo, donde existen pasos intermedios de obligatorio cálculo, como puede ser:

$$Z_i = e \cdot c \quad (2.39)$$

Donde:

Z_i : Calificación de los elementos con igual evaluación.

e : Número de elementos con igual evaluación.

c : Coeficiente que contempla el estado actual del elemento; [Adimensional]

$c = 1$ Si el elemento evaluado es bueno.

$c = 0,8$ Si el elemento evaluado es regular.

$c = 0,6$ Si el elemento evaluado es malo.

$c = 0,4$ Si el elemento evaluado es muy malo.

Luego de multiplicar la cantidad de elementos según la evaluación obtenida se procede a sumar estos productos mediante la ecuación:

$$Z = \sum_{i=1}^n Zi = Z_b + Z_r + Z_m + Z_{mm} \quad (2.40)$$

Donde:

Z : Calificación total de los elementos evaluados.

Al fraccionar este resultado entre la cantidad de elementos evaluados y afectándolo por 100 se obtiene el grado de eficiencia del equipo respecto a su condición inicial, lo anteriormente expuesto se evalúa empleando la expresión siguiente:

$$\eta = \frac{Z}{n} \cdot 100 \quad (2.41)$$

Donde:

η : Eficiencia obtenida al efectuar la defectación; [%].

n : Número de elementos evaluados del equipo.

Para clasificar el estado técnico del equipo de acuerdo con la eficiencia que se obtuvo al efectuar la defectación es necesario tomar como referencia la analogía siguiente:

Tabla 2.9 Parámetros para determinar la eficiencia de un equipo

Eficiencia	Estado técnico
90 – 100 %	Bueno
75 – 89 %	Regular
50 – 74 %	Malo
Menos de 50 %	Muy malo

Estado técnico:

$$E_T = \frac{0,85+0,75+0,95+0,5}{4} \times 100 \quad (2.42)$$

2.4.4. Selección del sistema de mantenimiento

Aun cuando en nuestras industrias se ha instaurado el mantenimiento preventivo a partir de los datos suministrados por el fabricante con el objetivo de elevar la eficiencia de los mantenimientos, reducir el consumo de piezas de repuesto y elevar la disponibilidad técnica, existe una tendencia actual de aplicar nuevos sistemas de sistemas de mantenimiento, entre los cuales se encuentran:

- Mantenimiento preventivo definido estadísticamente (fiabilidad).

- Mantenimiento preventivo con medición de parámetros y síntomas.
- Mantenimiento predictivo.
- Mantenimiento por condición.

Dependiendo del tipo de máquina, las características de la producción asociada y la importancia de esta en el proceso productivo, entre otros factores, se debe determinar el sistema de mantenimiento más adecuado para cada máquina, de ahí la importancia de disponer de una metodología para su determinación.

Debe considerarse además como aspecto esencial el hecho de que la influencia del diagnóstico en la rentabilidad es significativa solo cuando se vincula con el sistema de mantenimiento óptimo. Es importante destacar en este sentido la incidencia económica de la selección adecuada del sistema de mantenimiento, ya que es posible que después de realizar inversiones considerables en equipamiento y modificación de las estructuras existentes, el nuevo sistema de mantenimiento no cumpla con las expectativas que justificaron su uso.

Para la selección del sistema de mantenimiento se han propuesto diferentes metodologías, las cuales analizan con distintas particularidades, diferentes criterios que aplicados a la máquina como un todo permiten determinar que sistema de mantenimiento es el más conveniente.

Para la selección del sistema de mantenimiento utilizaremos el análisis criterio a nivel de máquina (Morrow, 1986).

Criterio a nivel de máquina

Evalúa la máquina como un todo, teniendo en cuenta los aspectos más significativos de la misma. Para ello utiliza una serie de coeficientes que cuantifican cada uno de los aspectos a valorar, lo cual se realiza de la siguiente forma:

C1: Elevado costo de adquisición de la máquina.

C2: Alto costo por concepto de pérdidas de producción.

C3: No existencia de duplicado de la máquina.

C4: Posibilidad de efectuar un diagnóstico de la máquina con la instrumentación disponible.

C5: Posibilidad de efectuar mediciones de control de parámetros globales tales como: Niveles totales de vibración, temperatura, flujo.

C6: Elevado costo de mantenimiento de la máquina. Aquí se incluyen los gastos de materiales y de recursos humanos en un determinado período de tiempo.

C7: Elevadas pérdidas de vida útil debido al desarme. Se refiere a máquinas que por sus características técnicas constructivas sufren deterioro de su estado técnico con el desarme.

C8: Graves consecuencias económicas de una rotura para la máquina. Considera que el deterioro de una de sus partes debido a un fallo haría muy costosa su reparación.

Los coeficientes que cumplen con la condición descrita adoptan el valor de 1.

Los coeficientes que no cumplen la condición adoptan el valor de 0.

Posteriormente se determinan los siguientes coeficientes:

- Coeficiente de mantenimiento predictivo

$$C_{PRED} = \frac{C1+C2+C3+C6}{4} \quad (2.43)$$

- Coeficiente de mantenimiento correctivo/preventivo

$$C_{CORR/PREV} = \frac{C_{PÉRDIDAS}+C_{FALLAS}}{5} \quad (2.44)$$

Siendo:

$$C_{PÉRDIDAS} = C1 + C2 + C6 \quad (2.45)$$

$$C_{FALLAS} = C7 + C8 \quad (2.46)$$

Tabla 2.10 Reglas de selección

Valor de los coeficientes	Sistema de mantenimiento
$C_{CORR/PREV} = 0$	Correctivo
$C_{PRED} \leq 0,25$ $C7 = 1$	Preventivo según índices de fiabilidad
$C_{PRED} > 0,5$ $C4 = 0$ $C5 = 1$	Preventivo con medición de parámetros y síntomas
$0,25 \leq C_{PRED} \leq 0,5$ $C4 = 1$ y/o $C5 = 1$	
$C_{PRED} \geq 0,5$ $C4 = 1$	Predictivo

Fuente: Navarrete (1986)

Periodos del ciclo de reparación

Para ello pueden utilizarse los siguientes criterios:

Periodo entre intervenciones (t_i): se denomina al periodo de tiempo de trabajo del equipo entre dos intervenciones; o sea, entre dos revisiones inmediata o entre una reparación y una revisión.

$$t_i = \frac{T}{N_M + N_P + N_R + 1} \quad (2.47)$$

Donde:

T: periodo entre reparaciones generales.

N_M : cantidad de reparaciones medianas.

N_P : cantidad de reparaciones pequeñas.

N_R : cantidad de revisiones.

Periodo entre reparaciones pequeñas (t_{rp}): se denomina al periodo de trabajo del equipo expresado en horas-máquinas entre dos reparaciones planificadas.

$$t_{rp} = \frac{T}{N_p + N_m + 1} \quad (2.48)$$

Periodo entre reparaciones medianas (t_{rm}): se denomina al periodo de trabajo del equipo expresado en horas-máquinas entre dos reparaciones medias.

$$t_{rm} = \frac{T}{N_m + 1} \quad (2.49)$$

2.5. Conclusiones del capítulo

- Se aplica un procedimiento de cálculo preciso y actualizado que permite determinar los parámetros tecnológicos de los transportadores de banda para áridos.
- Se conforman los esquemas de cálculo de los 15 transportadores de banda analizados
- Se establece la modelación del esquema de cálculo para determinar las tensiones en todos los puntos característicos del perfil; así como; la potencia y parámetros del accionamiento de cada transportador.
- Se propone el sistema de instauración del mantenimiento para los diferentes transportadores analizados según la metodología establecida.

CAPÍTULO III. Análisis de los resultados

3.1. Introducción

En este trabajo se determinan los parámetros tecnológicos que permiten seleccionar los transportadores de banda del proceso tecnológico de la planta procesadora de grava y arena analizada bajo los cuales se minimiza el costo de explotación de los equipos con un enfoque racional.

La determinación de los parámetros tecnológicos se realiza en todos los casos utilizando criterios de estandarización y se realiza la variante adecuada sobre la base del cálculo económico.

Los resultados de la aplicación de la metodología propuesta se exponen en tablas y gráficos y se realiza una valoración de dichos resultados.

Objetivo del capítulo

Seleccionar los valores de los parámetros tecnológicos que permitan reajustar los transportadores estudiados para disminuir sus pérdidas y mejorar la explotación de los mismos. Considerar criterios de estandarización para seleccionar los elementos que conforman cada transportador integrante del proceso tecnológico. Evaluar económicamente las variantes factibles desde el punto de vista técnico para la selección racional acorde a las condiciones reales de explotación.

3.2. Parámetros tecnológicos de los transportadores estudiados

Para la realización del cálculo mediante la metodología seleccionada en el capítulo 2, se utilizaron los siguientes parámetros. Los transportadores analizados trabajan un total de 2374 h/año.

Tabla 3.1. Parámetros de trabajo de los transportadores.

Transportador	Q (m ³ /h)	B (m)	V (m/s)	γ (t/m ³)	N (kW)	iL (m)	Δh m
TR 1	240	0,7	1,97	1,40	27,5	23	5,7
TR 2	20	0,5	1,97	1,40	7,5	21	7
TR 3	50	0,6	1,97	1,40	18	17	4,9
TR 4	30	0,5	1,97	1,40	9	13	2,8
TR 5	30	0,5	1,97	1,40	9	13	3,1

TR 6	215	0,6	1,97	1,40	11	19	6,1
TR 7	30	0,6	1,97	1,40	11	15	5,1
TR 8	60	0,5	1,97	1,40	4	24	7,85
TR 9	80	0,5	1,97	1,40	7,5	18	15,19
TR 10	75	0,5	1,97	1,40	7,5	24	9,6
TR 11	50	0,5	1,97	1,40	6,5	24	8,3
TR 12	15	0,5	1,97	1,40	5,5	20	5,7
TR 13	25	0,5	1,97	1,40	10,5	24	5,2
TR 14	20	0,5	1,97	1,40	5,5	20	4,8
TR 15	30	0,5	1,97	1,40	7,5	26,5	6,9

Tabla 3.2. Principales resultados de los parámetros calculados.

Equipo	Método de Cálculo	Potencia; kW	Ancho de Banda; m	Productividad; m ³ /h	Tamaño de la Inversión; CUC	Gasto anual de energía; kWh/año	longitud del transportador; m
TR 1	Instalado	27,50	0,700	260,00	26950,25	65285,00	23,00
	Necesario	22,40	0,650	240,00	25548,837	53177,60	23,00
	Diferencia	5,10	0,050	20,00	1401,41	12107,40	23,00
TR 2	Instalado	7,50	0,500	25,00	17815,29	17805,00	21,00
	Necesario	4,92	0,300	20,00	10728,543	11680,08	21,00
	Diferencia	2,58	0,200	5,00	7086,74	6124,92	21,00
TR 3	Instalado	18,00	0,600	60,00	16724,62	42732,00	17,00
	Necesario	14,90	0,400	50,00	11653,05	35372,60	17,00
	Diferencia	3,10	0,200	10,00	5071,57	7359,40	17,00
TR 4	Instalado	9,00	0,500	37,00	11028,51	21366,00	13,00
	Necesario	4,92	0,400	30,00	8911,16	11680,08	13,00
	Diferencia	4,08	0,100	7,00	2117,35	9685,92	13,00
TR 5	Instalado	9,00	0,500	38,00	11028,51	21366,00	13,00
	Necesario	5,50	0,400	30,00	8911,16	13057,00	13,00
	Diferencia	3,50	0,100	8,00	2117,35	8309,00	13,00
TR 6	Instalado	11,00	0,600	225,00	18692,22	26114,00	19,00
	Necesario	11,00	0,500	215,00	16118,59	26114,00	19,00
	Diferencia	0,00	0,100	10,00	2573,63	0,00	19,00
TR 7	Instalado	11,00	0,600	37,00	14757,02	26114,00	15,00
	Necesario	7,50	0,400	30,00	12725,205	17805,00	15,00
	Diferencia	3,50	0,200	7,00	2031,81	8309,00	15,00
TR 8	Instalado	4,00	0,500	65,00	20360,33	9496,00	24,00
	Necesario	5,50	0,400	60,00	16451,37	13057,00	24,00
	Diferencia	-1,50	0,100	5,00	3908,96	-3561,00	24,00

TR 9	Instalado	7,50	0,500	85,00	17708,42	17805,00	18,00
	Necesario	4,92	0,400	80,00	12338,53	11680,08	18,00
	Diferencia	2,58	0,100	5,00	5369,90	6124,92	18,00
TR 10	Instalado	7,50	0,500	80,00	23611,23	17805,00	24,00
	Necesario	5,60	0,400	75,00	16451,37	13294,40	24,00
	Diferencia	1,90	0,100	5,00	7159,86	4510,60	24,00
TR 11	Instalado	6,50	0,500	56,00	23611,23	15431,00	24,00
	Necesario	5,60	0,400	50,00	16451,37	13294,40	24,00
	Diferencia	0,90	0,100	6,00	7159,86	2136,60	24,00
TR 12	Instalado	5,50	0,500	50,00	19676,03	13057,00	20,00
	Necesario	3,73	0,400	40,00	13709,48	8855,02	20,00
	Diferencia	1,77	0,100	10,00	5966,55	4201,98	20,00
TR 13	Instalado	10,50	0,500	30,00	23611,23	24927,00	24,00
	Necesario	7,50	0,400	25,00	16451,37	17805,00	24,00
	Diferencia	3,00	0,100	5,00	7159,86	7122,00	24,00
TR 14	Instalado	5,50	0,500	27,00	19676,03	13057,00	20,00
	Necesario	4,92	0,400	20,00	13709,48	11680,08	20,00
	Diferencia	0,58	0,100	7,00	5966,55	1376,92	20,00
TR 15	Instalado	7,50	0,500	38,00	26070,73	17805,00	26,50
	Necesario	5,60	0,400	30,00	18165,05	13294,40	26,50
	Diferencia	1,90	0,100	8,00	7905,68	4510,60	26,50
Total	Instalado	147,50	8,00	1113,00	291321,66	350165,00	
	Necesario				218324,56	271846,74	
	Diferencia				72997,10	78318,26	

Análisis de los resultados obtenidos

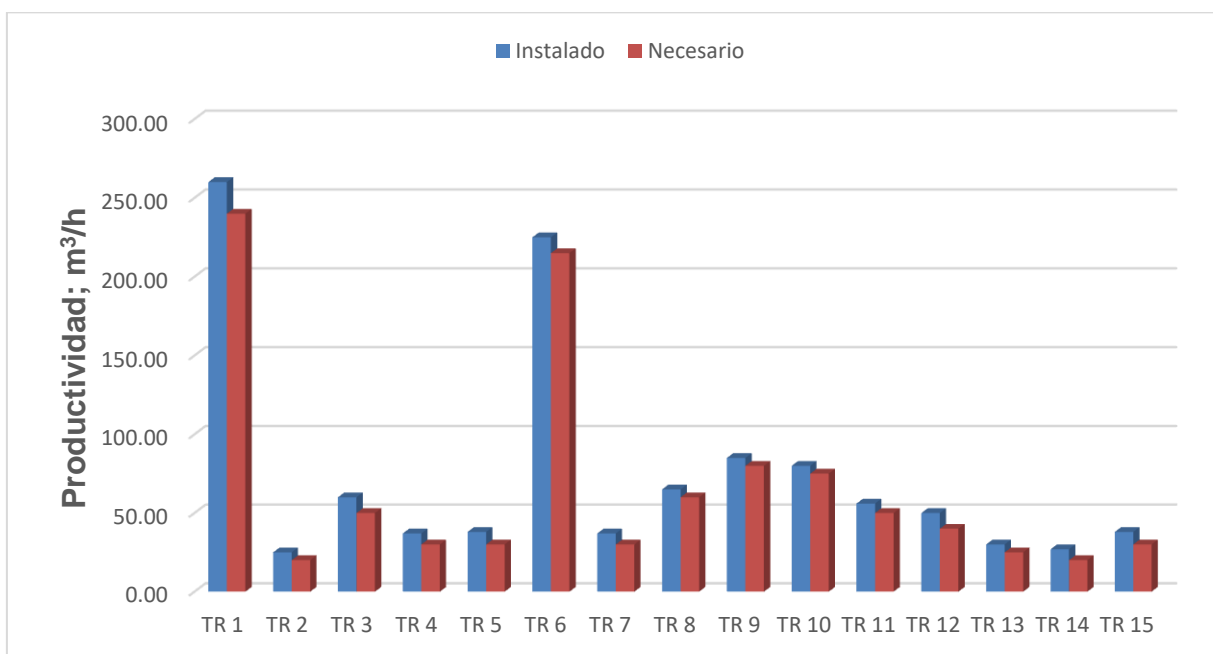


Figura 3.1. Gráfico comparativo de la productividad instalada y la necesaria para las condiciones de explotación actual.

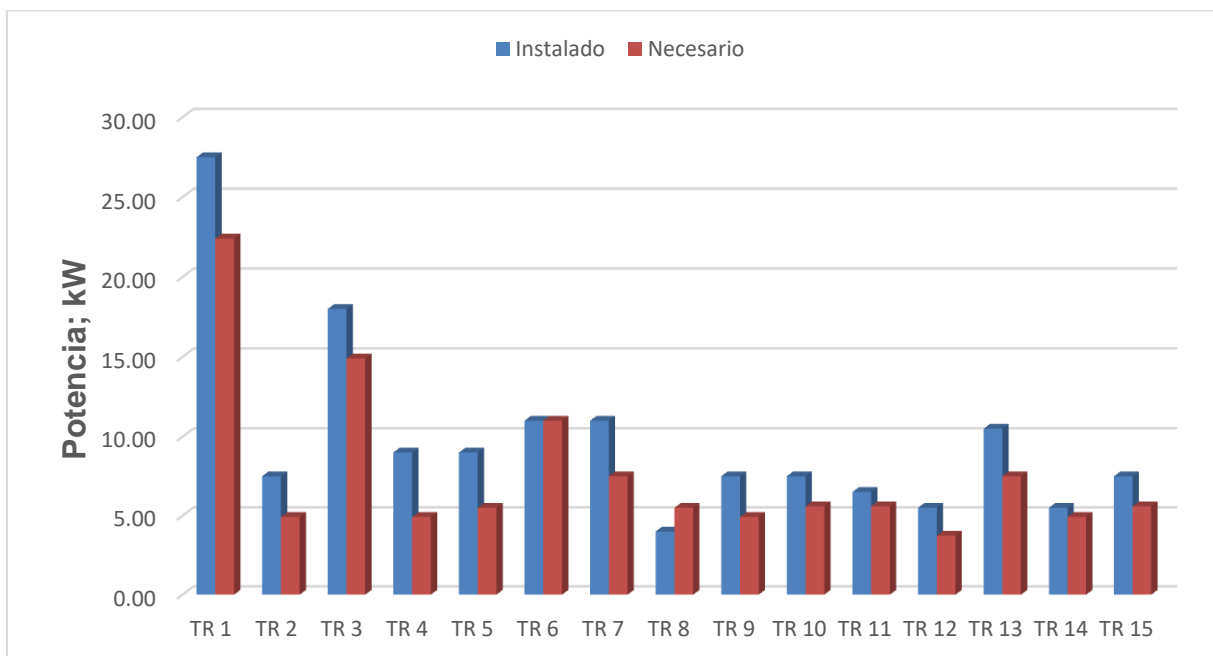


Figura 3.2. Gráfico comparativo de la potencia instalada y la necesaria para las condiciones de explotación actual.

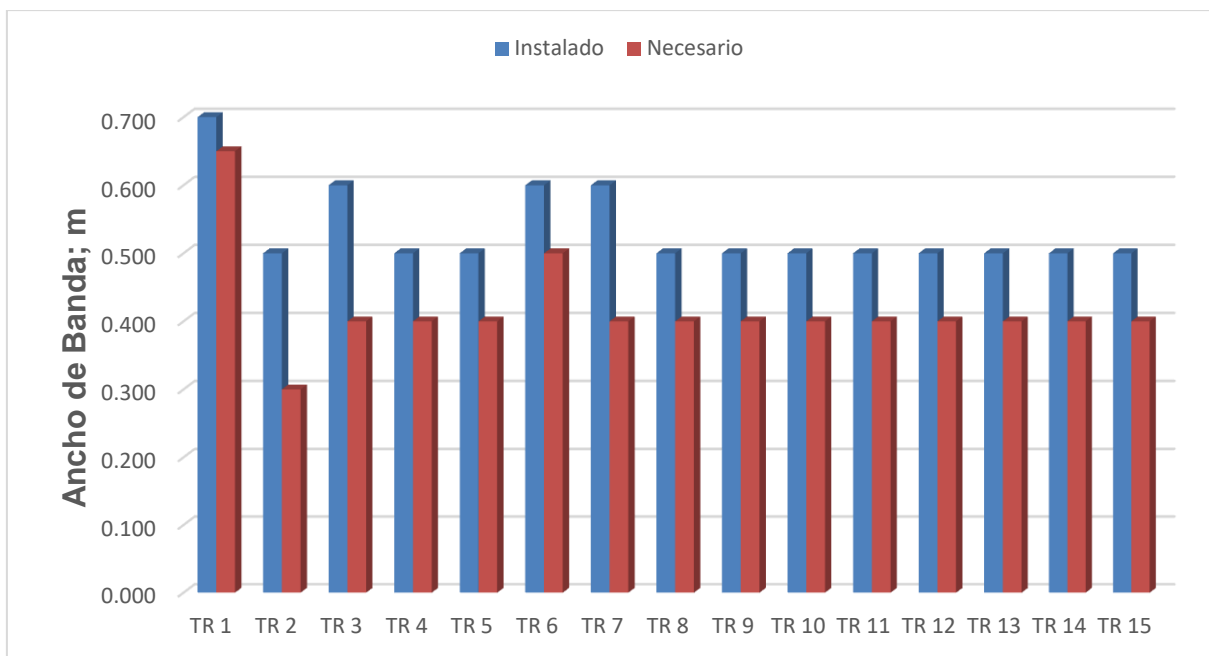


Figura 3.3. Gráfico comparativo del ancho de banda instalado y el necesario para las condiciones de explotación actual.

3.3. Propuesta del ciclo de mantenimiento para los transportadores

3.3.1. Análisis de criticidad

Conocida las características en cuanto a los criterios de importancia y quedando planteada la guía de criticidad, se realiza la encuesta para determinar el valor de la criticidad quedando reflejada en la siguiente tabla.

Tabla 3.3. Encuesta realizada para el análisis de criticidad.

Componentes	FF	IP	TPPR	CR	IS	IA	criticidad
Banda	4	2	2	20	30	20	296
Rodillos	4	1.3	1	5	30	20	225,2
Tamboras	3	2	2	7	30	20	183
Accionamientos	6	2	6	5	30	20	402

Los resultados de la tabla anterior demuestran que los componentes más críticos son los accionamientos debido a que presentan los mayores niveles de criticidad. Para una mejor visualización de los resultados, se puede observar en la figura 3.4, la cual brinda una información detallada acerca de las zonas de media, baja y alta criticidad.

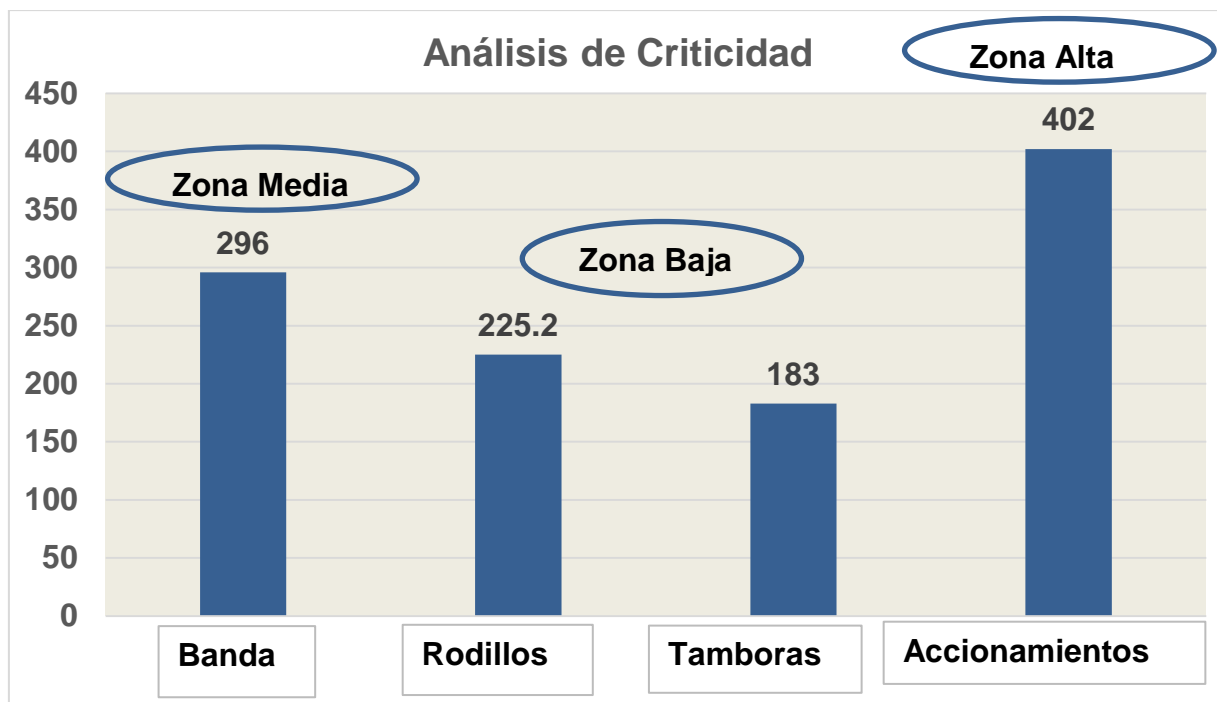


Figura 3.4. Zonas de criticidad en el equipo

Tabla 3.4. Resultados de los componentes según la criticidad

Componentes	Criticidad
Banda	Media
Rodillos	Baja
Tamboras	Baja
Accionamientos	Alta

3.3.2. Determinación del tipo de mantenimiento

Tabla 3.5. Evaluación de los coeficientes para la selección del tipo de mantenimiento

Coeficientes	Valor	Ecuación
C_1	1	-
C_2	1	-
C_3	0	-
C_4	0	-
C_5	1	-
C_6	1	-
C_7	1	-
C_8	1	-
C_{pred}	0,75	2.43
$C_{pérdidas}$	3	2.45
C_{fallas}	2	2.46
$C_{corr/prev}$	1	2.44

Según los resultados obtenidos en la Tabla 3.5, en comparación con las condiciones que brinda la tabla 2.10 y el significado de cada coeficiente, llegamos a la conclusión de que los transportadores deben regirse por un mantenimiento preventivo planificado (MPP).

El mantenimiento que se les realizara a los transportadores es un mantenimiento preventivo planificado (MPP). El (MPP) comprende aquellas acciones programadas y ejecutadas con el fin de mantener un equipo bajo condiciones específicas de trabajo que disminuya la posibilidad de ocurrencia de fallas. Con el (MPP) se puede planificar los recursos necesarios y el tiempo necesario para la ejecución se determina de acuerdo a la operación de trabajo.

El mantenimiento de los transportadores se determinó según el tiempo de explotación de instalación y las condiciones de trabajo de los equipos, el tiempo entre reparaciones fue, según experiencias correctamente seleccionado y más económico, el tiempo del ciclo se seleccionó según las condiciones en las que se encontraban los transportadores y con las correspondientes revisiones y reparaciones de manera que no se atrase la producción por un largo período de mantenimiento.

3.3.3. Estado técnico

Según los resultados de la evaluación de los componentes de los transportadores en la tabla (2.9), se obtiene dado por la eficiencia un estado técnico para cada elemento y su respectivo valor como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 3.7. Estado técnico de los componentes de los transportadores

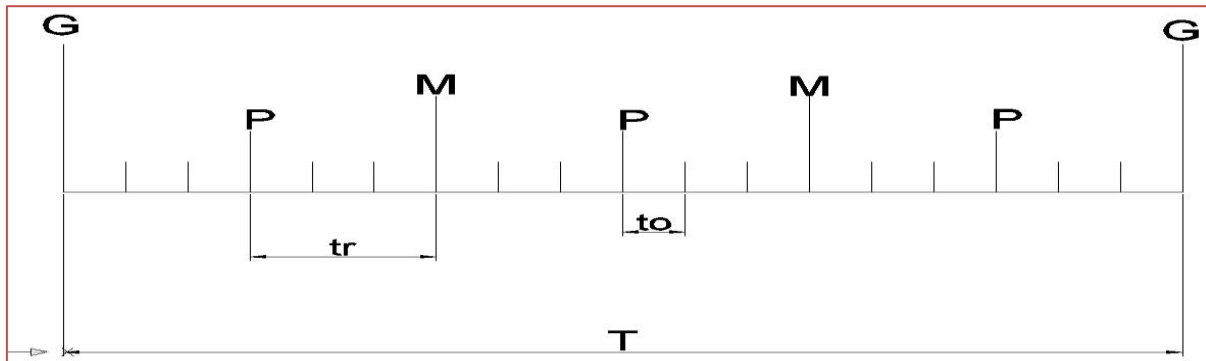
Elementos	Estado Técnico	Valores
Banda	Regular	0,85
Rodillos	Regular	0,75
Tamboras	Bueno	0.95
Accionamientos	Malo	0.5

Mediante el cálculo realizado empleando la ecuación (2.42) se determinó que el estado técnico de los transportadores es regular, arrojando un valor de $E_T = 76,25\%$

3.3.4. Estructura del ciclo de mantenimiento

Se determinó que los transportadores serán sometidos a 12 revisiones, 3 reparaciones pequeñas, 2 reparación mediana y 1 reparación general, quedando la estructura del ciclo de mantenimiento de la siguiente forma:

G – R – R – P – R – R – M – R – R – P – R – R – M – R – R – P – R – R – G



Es importante advertir que la elección o incluso la confección de un ciclo de mantenimiento no podrán prever todas las posibles roturas imprevistas de un equipo industrial, ya que entonces el mantenimiento preventivo se convertiría en un sistema antieconómico, pues el número de interrupciones planificadas sería mucho mayor que las roturas imprevistas. Debe evitarse el caso contrario, o sea, que el tiempo entre servicios sea de tal magnitud, que antes de llegar a la reparación planificada se produzcan un gran número de fallas.

Tabla 3.8. Periodos del ciclo de reparación.

Periodos	Valor en horas
Periodo entre intervenciones t_i	1144,44
Periodo entre reparaciones pequeñas t_{rp}	4120
Periodo entre reparaciones medias t_{rm}	6866,67

Con los resultados obtenidos en la tabla anterior queda establecido con más claridad el periodo del ciclo de mantenimiento para los transportadores.

3.3.5. Actividades a desarrollar en el ciclo de mantenimiento

Revisión

- ✓ Prueba del equipo para localizar defectos.
- ✓ Desconexión de la red de alimentación.
- ✓ Revisar la banda para comprobar su estado técnico.
- ✓ Revisar los rodillos para comprobar su estado técnico.
- ✓ Revisar las tambores para comprobar su estado técnico.
- ✓ Revisar los accionamientos para comprobar su estado técnico.
- ✓ Elaborar lista de defectos y piezas a sustituir en la próxima reparación.
- ✓ Revisar partes eléctricas según reglamento.
- ✓ Limpiar y engrasar partes desarmadas, probar equipo en vacío.
- ✓ Detectar calentamientos y ruidos excesivos.
- ✓ Entrega del equipo a producción.

Reparación pequeña

- ✓ Prueba del equipo.
- ✓ Desconexión de la red de alimentación.
- ✓ Reparar la banda y comprobar su estado técnico.
- ✓ Reemplazar los rodillos y comprobar su estado técnico.
- ✓ Reparar las tambores y comprobar su estado técnico.
- ✓ Reparar los accionamientos y comprobar su estado técnico.
- ✓ Reparar partes eléctricas según reglamento.
- ✓ Elaborar lista de defectos y piezas a sustituir en la próxima reparación.
- ✓ Limpiar, engrasar y ajustar los mecanismos desarmados.
- ✓ Probar el equipo en vacío.
- ✓ Entregar el equipo a producción.

Reparación mediana

- ✓ Prueba del equipo.
- ✓ Desconexión de la red de alimentación.
- ✓ Desarmar conjuntos o mecanismos con excepción de las piezas básicas.

- ✓ Reemplazar la banda y comprobar su estado técnico.
- ✓ Reemplazar los rodillos y comprobar su estado técnico.
- ✓ Reparar las tamboras y comprobar su estado técnico.
- ✓ Reparar los accionamientos y comprobar su estado técnico.
- ✓ Reparar partes eléctricas según reglamento.
- ✓ Elaborar lista de defectos.
- ✓ Probar en vacío.
- ✓ Entregar el equipo a producción

Reparación general

- ✓ Prueba del equipo.
- ✓ Desconexión de la red de alimentación.
- ✓ Desarme total del equipo.
- ✓ Reemplazar la banda y comprobar su estado técnico.
- ✓ Reemplazar los rodillos y comprobar su estado técnico.
- ✓ Reparar las tamboras y comprobar su estado técnico.
- ✓ Reparar los accionamientos y comprobar su estado técnico.
- ✓ Reparar partes eléctricas según reglamentos.
- ✓ Probar equipo en vacío.
- ✓ Probar equipo con carga.
- ✓ Entregar a producción.

3.3.6. Plan de acción para el elemento más crítico

Para el elemento más crítico de los transportadores, en este caso los accionamientos se propone para su mejoramiento:

- ✓ Revisión diaria (por mecánicos o técnico de mantenimiento de la UEB).
- ✓ Proveer a la máquina de un equipo alterno, el cual se ponga en marcha en caso de falla del componente y realice un reemplazo temporal.
- ✓ No prolongar el uso excesivo del equipo llevándolo al fallo del mismo.
- ✓ Un mantenimiento preventivo planificado con el objetivo de que se eviten las causas de rotura imprevistas que ocasionan fallas en el equipo.

✓ Cumplimiento riguroso del MPP establecido.

3.4. Valoración económica

El análisis económico permite determinar financieramente, cuáles son las mejores variantes del presente trabajo. Dentro de estas herramientas las más conocidas son el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Período de Recuperación (PR). El VAN es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros. El método, además, descuenta una determinada tasa o tipo de interés igual para todo el período considerado. Se define de la siguiente forma:

$$VAN = \sum_{i=0}^m \frac{Sa_i}{Q_i}, \quad (3.1)$$

Donde,

$$Sa_i = Cobros_i - Pagos_i = C_i - P_i; \quad (3.2)$$

$$Q_i = (1 + K_{ccap})^i$$

l:	Año
m:	Total de años
k:	Interés (%)

El valor de C_i está determinado por los ingresos (cobros) que realiza el inversionista durante la explotación del proyecto. En el caso de un transportador se tiene como fuente de ingreso el valor total de la transportación en cada año (VTA). Este valor se calcula:

$$VTA = VTM \cdot Q \cdot t \cdot L; \quad (3.3)$$

Donde:

Q; valor de la productividad,

T; horas trabajadas en el año,

L; longitud de transportación y

VTM; valor de transportar una tonelada por unidad de longitud.

El valor de P_i debe ser estudiado primero de manera particular cuando $i=0$, es decir en la etapa de montaje. En esta etapa se tienen en cuenta los siguientes gastos:

- Infraestructura: Cimientos, Estructuras y Montaje
- Artesa: Costo de la estructura y Costo de los rodillos
- Accionamiento: Costo de los Motores, Costo de los reductores y acoplamientos, Costo de tambores motores, Costo de dispositivos de regulación y control, Costo de frenos, etc.
- Banda: Costo de la Banda y Costo de Empalme de la Banda
- Puntos de Limpieza
- Puntos de Carga
- Puntos de Descarga
- Puntos de Tensión
- Instalación de Artesa, Banda y Puntos

Para $i > 0$, el valor de P_i contempla los siguientes rubros:

- Valor de la energía que se consume en un año.
- Gastos de Mantenimiento.
- Gastos de salarios y otros.

El TIR o Tasa Interna de Retorno es el valor de K_{ccap} que logra que el VAN se anule cuando $i=m$. Para obtenerlo debe resolverse para K_{ccap} la ecuación

$$\sum_{i=0}^m \frac{S_i}{(1+K_{ccap})^i} = 0 \quad (3.4)$$

El valor de i representa al tiempo y en el momento en que el VAN pase a ser un valor positivo se dice que n toma el valor llamado Período de Recuperación (PR).

Para cada variante propuesta de transportador se puede calcular el VAN como punto de referencia para evaluar su factibilidad. Aquellos proyectos factibles de mayor VAN, serán considerados los de mayor nivel de aceptación.

Para las condiciones de explotación actual, comparando los resultados de los parámetros instalados con los calculados, se tienen los resultados de la tabla 3.2:

Tabla 3.9. Indicadores comparativos entre los parámetros instalados y los resultados de este trabajo.

Variante	Costo total por Ancho de Banda; CUC	Gasto anual de energía; kWh/año	Periodo de Recuperación Año
Instalado	291321,66	350165,00	2,033
Necesario	218324,56	271846,74	1,780
Diferencia	72997,10	78318,26	0,253

3.5. Impacto medio ambiental y riesgos

Esta opción de transportación desde el punto de vista territorial es más convencional, pues no afecta a poblaciones ni a infraestructuras. No obstante, a continuación se exponen las principales afectaciones desde el punto de vista medio ambiental, tanto las acciones impactantes de la actividad de explotación y procesamiento de áridos, así como los factores ambientales posibles a ser impactados.

Acciones impactantes

Fase de construcción

- Necesidades del suelo.
- Desvío de cauces de agua.
- Accesos adicionales.
- Transporte de materiales.
- Movimiento de maquinaria pesada.
- Áreas de servicio.

Factores impactados

Medio natural

- Aire (calidad, gases, vientos dominantes con polvo, contaminación sonora).

- Tierra (recursos minerales, destrucción de los suelos, erosión, reposición, compactación, estabilidad de laderas, características físicas, químicas y permeabilidad).
- Agua (calidades, contaminación de aguas superficiales, cambio en los flujos de los caudales).

Medio socioeconómico

- Infraestructuras (red y servicio de transporte y comunicación).

Condiciones ambientales

- Clima: clima tropical húmedo
- Temperatura a la sombra: +18,2 °C a +32,5 °C
- Humedad relativa: 61 al 90 %
- Viento máximo: 25-35 km/h

3.6. Conclusiones del capítulo

- Es factible utilizar bandas de tipo textil por capas como elemento portador de la carga y de tracción para los transportadores de banda del proceso tecnológico de la Instalación analizada.
- Se estandarizan los transportadores a anchos de banda de 300, 400, 500, 600, 650 y 700 mm.
- Se realiza una valoración económica que permite seleccionar la variante más racional de los transportadores de banda para el proceso tecnológico, teniendo en cuenta las propiedades físico-mecánicas de los áridos procesados.
- Se establece el sistema de mantenimiento para los transportadores de banda seleccionados para el acarreo de áridos.

Conclusiones generales

Durante la presente investigación:

1. Se analizaron varios procedimientos de cálculo utilizados para la determinación de los parámetros tecnológicos de los transportadores de banda y se selecciona el procedimiento propuesto por (Sierra, 2010 y Oriol y Aguilar, 1995).
2. Se demostró que los transportadores de banda seleccionados por la planta procesadora de grava y arena “El Pílon” están sobredimensionados en la mayoría de los casos, tanto desde su capacidad (anchos de banda superior a los reales necesarios); como de la potencia de accionamiento.
3. Se obtuvo el esquema de cálculo y la modelación de las tensiones correspondientes que permitió determinar los parámetros tecnológicos necesarios para la selección de los transportadores de banda que conforman el flujo tecnológico para el acarreo de áridos.
4. Se estandarizaron los transportadores de banda del flujo tecnológico a anchos de banda de 300, 400, 500, 600, 650 y 700 mm, que implica a su vez estandarizar otros elementos del transportador como son: rodillos de apoyo y tambores.
5. La aplicación de los resultados del presente trabajo significan para la planta procesadora de grava y arena “El Pílon” un ahorro de 72997,10 CUC, disminuir la potencia instalada en el accionamiento de los transportadores en 78318,26 kWh/año y se disminuye el periodo de recuperación en 0,253 año con respecto a lo instalado.

Recomendaciones

1. Considerar el presente trabajo como material técnico de referencia en la planta procesadora de grava y arena “El Pílon” y como material de consulta tanto para estudiantes como técnicos superiores.
2. Utilizar la metodología presente en este trabajo para el cálculo de los parámetros tecnológicos de los transportadores de banda en futuros proyectos para el acarreo de áridos.
3. Publicar los resultados del trabajo en la Revista Ciencia y Futuro del ISMMM.

Referencias bibliográficas

1. ALONZO DANIEL. Transportadores Convencionales. www.geocites.com/ingenieriadlplata. Mayo 2002.
2. CALDERÓN COLUMBIÉ M. Transportadores de bandas de la planta de secaderos y molinos. Empresa Comandante "René Ramos Latour". Tutores Walter Quesada y Juan Candebat. 1984.
3. DIAKOV V A. Máquinas de transporte en la minería a cielo abierto. Ed. Nedra. Moscú, 1996.
4. DOBROVOLKI V, ZABLONSKI K, HADCHIK A Y ERLIJ L. Elementos de Máquinas. Editorial MIR. Moscú. 1980.
5. FADDIEV BORISV. Transportadores de banda en las canteras de minerales metálicos. Ed. Nedra. Moscú, 1972. 387 p.
6. GARCELL REGALADO YOANNIA. Perfeccionamiento científico y metodológico de asignatura equipos de transporte industrial e izaje. Trabajo de Diploma. Tutores Ing. Roberto Sierra Pérez, Lic. Leila Reyes Oliveros. Año 2003. I.S.M.M.
7. GRIGORIEV B. N. ET AL. Máquinas y complejos de transporte para el laboreo subterráneo. Ed. Nedra, Moscú, 1986.415 pp.
8. HINOJOSA HEBER, CAMACHO FEDERICO. Desarrollo de software para diseño de bandas transportadoras. Revista Tecnológica. Vol.16, No.1, Junio 2003. (SOFTWARE).
9. LAMBER J. Alternative weighing. Tecnology for belt. Conveying systems. B.S.H. 1 (3), Germany, 1990.
10. LAUHOFF H. Control de Velocidad en Correas Transportadoras - ¿Realmente Ahorra Energía? Vol. 25 (2005) No. 6.Revista. Bulk Solids Handling (Manejo de Sólidos a Granel). Alemania. www.synergy-eng.com/spanish/pdf/

11. LOYOLA FERNÁNDEZ, ROBERTO. Estandarización del sistema de transporte por transportadores de bandas en el taller 01 y en la planta de recuperación de mineral de la empresa Ernesto Che Guevara. Roberto Sierra (tutor). Trabajo de diploma. Instituto superior minero metalúrgico, 2002. 73 h.
12. MENA PERDOMO SERVIO TULIO. Aplicación de métodos matemáticos para el perfeccionamiento de la metodología de cálculo de los transportadores de banda. Trabajo de Diploma. Tutores M Sc Roberto Sierra Pérez, Dr C Arístides A. Legrá Lovaina. ISMMM. 2006.
13. MORROW, H. S. (1986). Organization and Administration of the Maintenance.
14. NAVARRETE, E. P. (1986). Mantenimiento industrial. La Habana: EMPES.
15. ORIOL G. J.M. AGUILAR P.F. Máquinas de transporte continuo. T I. 3Ed. Pueblo y Educación. 1995. 235 p. ISBN 959-13-0393-9.
16. ORIOL G. J.M. Conferencia de máquinas transportadoras. Cuba. Editorial Félix Varela. Manual. 1993.
17. PEREDA H. S., POLANCO A. R G. Transporte minero. La Habana. Edit. Félix Varela. 1999. Libro. 363 p.
18. POTAPOV N. G. Máquinas de transporte. Niedra. 1980. 261 p.
19. RESHETOV D. Elementos de Máquinas. Editorial Pueblo y Educación. 1985.
20. RODRÍGUEZ T., CALIXTO Y FALCÓ O., OLBEN. Proyecto de explotación actualizado periodo 2007 – 2011, concesión del yacimiento de grava – arena Río Sagua zona 15 y zona Limba. 2008.
21. SHASMEITER L G. DIITRIEV V G. Teoría y Cálculo de los Transportadores de banda. Mashinostoinie. Moscú, 1987. 417 P.
22. SHUBIN V. S., PEDRE C. Diseño de máquinas industriales T. II. La Habana. Edit. Pueblo y Educación. Libro. 1986.

23. SHUBIN V. S., PEDRE C. Diseño de máquinas industriales T. II. La Habana. Edit. Pueblo y Educación. Libro. 1986.
24. SHUBIN V. S., PEDRE C. Diseño de máquinas industriales T. III. La Habana. Edit. Pueblo y Educación. Libro. 1986. 364 p.
25. SHUBIN V. S., PEDRE C. Diseño de máquinas industriales T. III. La Habana. Edit. Pueblo y Educación. Libro. 1986. 364 pp.
26. SIERRA PÉREZ R J., LEGRÁ LOBAINA A A, DONATIÉN CARBONEL A, MATOS L. Caracterización de la mena laterítica para el ajuste de parámetros tecnológicos del transportador de banda. Revista Minería y Geología. [Consultado: 2009 10 14]. Vol 25 No 3 de 2009. Disponible en www.ismm.edu.cu/revistamg.
27. SIERRA PÉREZ, ROBERTO JOHAN. Análisis de la explotación de los equipos de transportación de grava y arena en la industria de materiales de construcción de Moa. Revista Minería y Geología. Moa. Holguín. Cuba. 1987. Pp 71-82.
28. SIERRA PÉREZ, ROBERTO JOHAN. Optimización energética en el diseño de transportadores de banda para el mineral laterítico cubano. Tesis Doctorado en Ciencias Técnicas. ISMM. 2010.
29. SPIVAKOSKI A O. Transportadores de Banda para la Industria Minera. Ed Niedra, Moscú, 1982. 345 p
30. SPIVAKOSKI A O. Transportadores de banda para la industria minera. Ed Niedra, Moscú, 1982. 345 pp.
31. SPIVAKOSKI A. O., DIMITRIEV B G. Teoría de los transportadores de banda. Moscú. Nauta. 1982. 363 pp.
32. SPIVAKOSKI A. O., POTAPOV M. G. Máquinas y complejos de transporte en las labores minera. Libro. Editorial Niedra. 1983. 383 p.
33. TARASOV U. D. Construcción y cálculo de las máquinas y complejos de transporte. Leningrado, 1980. 227 p.

34. TÍJONOV N V. Máquinas de transporte en las empresas mineras. Ed. Nedra, Moscú, 1987. 367 p.
35. VALOTKOSKII V.S., KARMAEV G.D., DRAYA M.I. Selección del equipamiento de los transportadores de banda en las canteras. Ed Nedra. Moscú. 1990. 387 pp.
36. VASILIEV K A, NIKOLAIEV A K Y CAZONOV K G. Máquinas de cargas y transporte de las plantas de beneficio de minerales. Sant Petersburg. HAYKA. 2006. 358 p. ISBN 5-02-025092-9. 359 p.
37. VASILIEV K A, NIKOLAIEV A k. Máquinas de transporte. Sant Petersburg. 124 p. ISBN 5-94211-216-9. 2003.
38. ZELIENKII O. B., PETROV A. C. Manual para proyectos de transportadores de banda. Nedra. Moscú 1986. En ruso. 222 p.

Anexos

Anexo 1.1

Tabla 1.1. Capacidad de Transporte QM para $v = 1$ m/s., en m³/h

Ancho	Montaje Plano	Montaje en Artesa (para valores de β indicados)					
		20°	25°	30°	35°	40°	45°
400	23	42	47	51	54	56	58
450	30	55	61	67	70	73	76
500	38	70	77	84	89	93	96
550	48	87	96	105	111	115	119
600	58	106	116	127	134	139	145
650	69	126	139	151	160	166	173
700	81	148	163	178	188	195	203
750	94	172	189	206	218	227	235
800	108	198	217	237	251	261	271
850	123	225	247	270	286	297	308
900	139	254	280	305	323	335	348
950	156	285	314	342	362	376	391
1000	173	318	350	381	404	420	436
1100	212	389	428	467	494	513	533
1200	255	467	513	560	593	616	640
1300	301	552	607	662	701	729	756
1400	351	644	709	773	818	850	883
1500	406	744	818	892	944	982	1019
1600	464	850	935	1020	1080	1122	1165
1800	592	1085	1193	1301	1377	1432	1486
2000	735	1348	1482	1617	1711	1779	1846
2200	894	1639	1803	1967	2081	2163	2245

Anexo 1.2

Tabla 1.2 Propiedades físico mecánicas del Horizonte +80

Parámetros		POZO			ESCALON		
		Fracción en (mm)			Fracciones de piedra		
		20-40	10-20	5-10	20-40	10-20	5-10
Peso volumétrico (g/cm ³)	Seco	2,47	2,47	2,10	2,26	2,21	2,63
	Saturado	2,54	2,54	2,14	2,40	2,37	2,67
Absorción (%)	-	2,88	2,77	1,82	6,25	7,26	1,71
Peso volumétrico (g/cm ³)	-	1,44	1,25	1,55	1,39	1,15	1,45
Porosidad (%)	-	7,83	7,83	21,6	16,3	18,14	2,59
Marca de la piedra	Seco	600	600	600	600	400	300

Tabla 1.3 Propiedades físico mecánicas del Horizonte +60

Parámetros		POZO			ESCALON		
		Fracción en (mm)			Fracciones de piedra		
		20-40	10-20	5-10	20-40	10-20	5-10
Peso volumétrico (g/cm ³)	Seco	2,42	2,45	2,57	2,31	3,30	2,59
	Saturado	2,51	2,54	2,60	2,43	2,43	2,63
Absorción (%)	-	3,95	3,58	1,82	5,43	5,67	1,38
Peso volumétrico (g/cm ³)	-	1,42		1,64	1,38	1,17	1,45
Porosidad (%)	-	7,73	6,48	1,90	13,48	13,85	2,99
Marca de la piedra	Seco	400	600	400	300	400	400
	Saturado	400	600	400	400	400	300

Anexo 1.3 Investigaciones tecnológicas y características cualitativas de los productos finales

Tabla 1.4 Composición granulométrica de la fracción 19 – 10 mm. p

Tamiz (mm)	% Pasado	% Retenido
25,4	99	1
19,1	84	16
12,7	11	89
9,52	1	99
4,76	1	99

Tabla 1.5 Otras características físicas de la fracción 19 – 10 mm.

Masa unitaria suelta; kg/l	1,488
Masa unitaria compactada; kg/l	1,635
Vacío; %	35,7
índice de triturabilidad; %	6,34
Abrasión; %	20,4
Material más fino que el tamiz 200; %	0,72
Partículas planas y alargadas; %	7,26
Partículas de arcilla; %	0
Peso específico corriente; g/cm ³	2,226
Peso específico saturado; g/cm ³	2,543
Peso específico aparente; g/cm ³	2,617
Absorción; %	2,87

Tabla 1.6 Composición granulométrica de la fracción 10 – 5 mm.

Tamiz (mm)	% Pasado	% Retenido
12,7	100	0
9,52	77	23
4,76	14	86
2,38	3	97
1,19	2	98

Tabla 1.7 Otras características físicas de la fracción 10 – 5 mm.

Masa unitaria suelta; kg/l	1,423
Masa unitaria compactada; kg/l	1,569
Vacío; %	37,2
índice de triturabilidad; %	6,58
Abrasión; %	24,0
Material más fino que el tamiz 200; %	0,85
Partículas planas y alargadas; %	6,0
Partículas de arcilla; %	0
Peso específico corriente; g/cm ³	2,502
Peso específico saturado; g/cm ³	2,588
Peso específico aparente; g/cm ³	2,736
Absorción; %	3,4

Tabla 1.8 Composición granulométrica de la fracción 5 – 0,15 mm.

Tamiz (mm)	% Pasado	% Retenido
9,52	100	0
4,76	98	2
2,38	84	16
1,19	69	31
0,59	46	54
0,297	15	85
0,149	2	98

Tabla 1.9 Otras características físicas de la fracción 5 – 0,15 mm.

Masa unitaria suelta; kg/l	1,500
Masa unitaria compactada; kg/l	1,614
Vacío; %	33,7
Material más fino que el tamiz 200; %	1,4
Partículas de arcilla; %	0
Peso específico corriente; g/cm ³	2,435
Peso específico saturado; g/cm ³	2,530
Peso específico aparente; g/cm ³	2,693
Absorción; %	3,94

Anexo 1.4

Tabla 1.10 – Coeficientes de Seguridad para Bandas de Carcasa textil

Número de Capas (Z)	de 3 a 5	de 6 a 9	más de 9
Coeficiente Seguridad (S)	11	12	13

Tabla 1.11 Diámetros de tambores normalizados s/DIN 22101

200	250	320	400	500	630	800	1000	1250	1400	1600	1800	2000
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------

Tabla 1.12 Tipos de Bandas Lisas más usuales

Ancho (mm)	Lonas	Recubrim. (mm)
400	2 EP-125	2+1,5
400	3 EP-125	3+1,5
500	2 EP-125	2+1,5
500	3 EP-125	3+1,5
600	3 EP-125	3+1,5
650	3 EP-125	3+1,5
800	3 EP-125	3+1,5
800	4 EP-125	4+2
1000	3 EP-125	3+1,5
1000	4 EP-125	4+2
1200	4 EP-125	4+2

Tabla 1.13 - Valores de "K"

Inclinación δ	K
0	1
2	1
4	0,99
6	0,98
8	0,97
10	0,95
12	0,93
14	0,91
16	0,89
18	0,85
20	0,81
21	0,78
22	0,76
23	0,73
24	0,71
25	0,68
26	0,66
27	0,64
28	0,61
29	0,59
30	0,56

Tabla 1.14 - Coeficientes de Corrección según Talud

Ángulo Talud	Montaje Plano	Montaje en Artesa (para valores de β indicados)					
		20°	25°	30°	35°	40°	45°
10	0,50	0,77	0,79	0,82	0,84	0,86	0,87
20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30	1,50	1,24	1,21	1,19	1,17	1,16	1,14

Anexo 1.5

Tabla 1.15. Propiedades físico-mecánicas de la capa 1

Parámetros	U/M	Valor promedio	Valor máximo	Valor mínimo
Peso específico de los solidos	kN/m ³	26,6	27,1	26,4
Peso específico húmedo	kN/m ³	24,4	25,6	22,8
Peso específico seco	kN/m ³	24,3	25,5	22,6
Peso específico saturado	kN/m ³	25,1	26,0	24,3
Peso específico sumergido	kN/m ³	15,1	16,0	14,3
Humedad	%	0,6	1,6	0,1
Porosidad	%	9,0	13,0	5,0
Absorción	%	1,7	3,6	0,3
Saturación	%	15,0	34,0	4,0
Resistencia a la compresión axial estado seco	MPa	25,8	40,4	13,9
Resistencia a la compresión axial estado saturado	MPa	22,9	34,4	11,3
Coeficiente de ablandamiento	-	0,89	0,98	0,78

Tabla 1.16. Propiedades físico-mecánicas de la capa 2

Parámetros	U/M	Valor promedio	Valor máximo	Valor mínimo
Peso específico de los solidos	kN/m ³	26,6	26,7	26,5
Peso específico húmedo	kN/m ³	21,4	21,7	20,9
Peso específico seco	kN/m ³	20,8	21,5	20,3
Peso específico saturado	kN/m ³	23,0	23,4	22,7
Peso específico sumergido	kN/m ³	13,0	13,4	12,7
Humedad	%	2,5	3,7	1,0
Porosidad	%	23,0	22,0	24,1
Absorción	%	5,5	6,3	4,6
Saturación	%	29,0	34,0	24,0
Resistencia a la compresión axial estado seco	MPa	13,1	17,6	9,8
Resistencia a la compresión axial estado saturado	MPa	9,3	12,1	7,1
Coeficiente de ablandamiento	-	0,71	0,73	0,69

Tabla 1.17. Propiedades físico-mecánicas de la capa 3

Parámetros	U/M	Valor promedio	Valor máximo	Valor mínimo
Peso específico de los solidos	kN/m ³	-	26,9	-
Peso específico húmedo	kN/m ³	24,3	24,8	23,5
Peso específico seco	kN/m ³	24,1	24,5	23,2
Peso específico saturado	kN/m ³	25,1	25,4	24,6
Peso específico sumergido	kN/m ³	15,1	15,4	14,6
Humedad	%	1,1	1,3	0,4
Porosidad	%	11,0	14,0	9,0
Absorción	%	1,4	2,2	0,8
Saturación	%	24,0	35,0	11,0
Resistencia a la compresión axial estado seco	MPa	19,9	21,5	17,5
Resistencia a la compresión axial estado saturado	MPa	18,3	20,7	15,5
Coeficiente de ablandamiento	-	0,92	0,96	0,88