



Ministerio de Educación Superior  
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa  
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”  
Facultad de Metalurgia Electromecánica  
Departamento de Mecánica

# Trabajo de Diploma

*En opción al Título de Ingeniero Mecánico*

*Título: Análisis de la explotación de la línea de rechazo de la planta de pulpa de la Empresa Pedro Sotto Alba*

*Autor: Dannis Legrá Cintra*

*Tutores: Dr:C Roberto Johan Sierra Pérez*

*M.Sc Rafael Antonio Castillo Díaz*

*Ing. Carlos Remón Fernández*

*Moa /2012*

*“Año 54 de la Revolución”*



## **Declaración de autoridad**

Yo: Dannis Legrá Cintra autor de este Trabajo de Diploma, los tutores Dr.C Roberto Sierra Pérez, M.Sc Rafael Antonio Castillo Díaz y el Ing. Carlos Remón Fernández declaramos la propiedad intelectual de este al servicio del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa y de la empresa Pedro Sotto Alba para que dispongan de su uso cuando estimen conveniente.

---

Diplomante: Danni Legrá Cintra

---

Tutor: Dr.C Roberto Sierra Pérez

---

Tutor: M.Sc Rafael A. Castillo Díaz

---

Tutor: Ing. Carlos Remón Fernández



## **Pensamientos**

No podrás cambiar la dirección del viento, pero sí ajustar las velas, para llegar al destino deseado.

**James Deam**

Creo en el milagro de lo que puede hacer el trabajo, de lo que puede hacer la ciencia y de lo que pueden hacer los hombres”.

**Fidel Castro Ruz**



## **DEDICATORIA**

Cuando se culmina una meta deseada y se desea imponer momentos de alegría, solo se debe tener presente a aquellas personas que con su dedicación y amor contribuyeron a la realización de esta.

En forma de agradecimiento y virtud del bello esfuerzo que esas personas realizaron en aras de mi bienestar, dedico este sueño:

*A: La memoria de Joel Leyva y Gloria Isabel Durán (mis abuelos) por cuanto hicieron para que este sueño se hiciera realidad, por todo lo que representaron en mi vida.*

*A: Anais Cintra Rodríguez (mi madre), por el amor que le tengo y por su incansable lucha ante las dificultades que la vida nos guarda, a ella que le debo todo lo que soy mientras viva.*

*A: Fidel Legra Durán (mi padre), por toda la confianza que ha depositado en mí y porque me ha servido de ejemplo en la vida.*

*A todas las personas que de una forma u otra me brindaron su ayuda y confiaron en mí en todo momento.*

*A todos muchas gracias.*

*El Autor*



## **AGRADECIMIENTOS**

Una obra se encuentra culminada solo cuando el conjunto de ideas y arduo trabajo han logrado vencer las adversidades del tiempo. Pero solo con valiosas colaboraciones es posible transitar por un camino de grandes contratiempos. De esta forma les doy mis gratos agradecimientos:

*A la revolución por darme la oportunidad de estudiar.*

*A mis padres por el constante aliento que me brindaron en todo momento de mi carrera.*

*A mis grandes amigos con los cuales he compartido los momentos más difíciles de mi carrera y supieron brindarme su incondicional amistad.*

*A mis tutores por toda la ayuda que me brindaron durante el desarrollo de este trabajo.*

*A todos los profesores que en mí formaron a un profesional de estos tiempos y por la ayuda desinteresada que me supieron brindar.*

*A todas esas personas que sus nombres no están en esta página, pero que siempre vivirán en mi corazón.*

*A todos muchas gracias.*

*El Autor*



## **RESUMEN**

---

En este trabajo de tesis en opción al título de ingeniero se determinan los parámetros tecnológicos de explotación de la línea de rechazo de la planta de pulpa de la Empresa Comandante Pedro Sotto Alba. Al determinarse los principales parámetros técnicos de los equipos que componen dicha instalación: como la criba, el tambor lavador y los transportadores de banda. Se realiza un análisis crítico de los resultados con el objetivo de aumentar la eficiencia de la planta en dependencia del volumen que se procesa. Por último se realiza una valoración técnico-económica teniendo en cuenta el mejor aprovechamiento de las capacidades instaladas y una valoración medio ambiental del proceso para mejorar las condiciones de trabajo y del territorio.

## **ABSTRACT**

---

In this work of thesis in option they determine to engineer's title the Empresa Comandante Pedro Sotto Alba's technological parameters of exploitation of the line of rejection of the plant of pulp. To determine the principal technical parameters of the teams that compose said installation: As he sieves it, the washing drum and the belt conveyors. A critical analysis of aftermath for the sake of increasing the efficiency of the plant in dependence of volume that is processed comes true. Finally comes true a technical economic evaluation taking the best use of capabilities installed into account and a half way environmental evaluation of process for the better the conditions of work and of the territory.



## ÍNDICE

Contenido	Pág
Introducción.....	1
<b>CAPÍTULO I: Marco teórico de la investigación</b>	
1.1. Introducción.....	4
1.2 Trabajos precedentes.....	4
1.3. Descripción del proceso tecnológico de la empresa.....	6
1.3.1. Proceso tecnológico de la planta pulpa.....	7
1.4. Equipos instalados en el circuito de rechazo de la planta de pulpa.....	8
1.4.1. Ventajas y desventajas de los transportadores de banda.....	8
1.4.2. Ventajas de las bandas como órganos de tracción flexible.....	8
1.4.3. Sistema de alimentación.....	9
1.4.4. Transportadores de banda C0-2, C0-5, C0-11, C0-12, C0-13 y C0-14.....	11
1.4.4.1. Características técnicas del transportador C0-2 de rechazo.....	11
1.4.4.2. Características técnicas del transportador C0-5 de rechazo.....	12
1.4.4.3. Características técnicas del transportador C0-11 de rechazo...	12
1.4.4.4. Características técnicas del transportador C0-12 de rechazo...	13
1.4.4.5. Características técnicas del transportador C0-13 de rechazo...	14
1.4.4.6. Características técnicas del transportador C0-14 de rechazo...	14
1.4.5. La criba de tambor.....	15
1.4.5.1 La criba de tambor o cilindro lavador 112-Sb-01.....	16
1.4.5.2 Principales parámetros de la criba o cilindro lavador (112-Sb-01)	16
1.4.6. Las cribas vibratorias.....	16
1.4.6.1. La criba vibratoria Sn-06.....	17
1.4.6.2. Principales parámetros de la criba Sn-06 .....	17
1.5. Propiedades físico-mecánicas de los materiales a granel.	



	Definiciones.....	18
1.5	Conclusiones del capítulo.....	19
<b>CAPÍTULO II: Materiales y métodos de investigación</b>		
2.1.	Introducción.....	20
2.2.	Instrumentos de medición.....	20
2.3.	Características de la materia prima .....	20
2.3.1.	Características del material desechado.....	22
2.4.	Determinación de los principales parámetros de la criba.....	22
2.5.	Criba de tambor o cilindro lavador .....	24
2.5.1.	Determinación de los principales parámetros de la criba de tambor .....	24
2.6.	Determinación de los principales parámetros de los Transportadores.....	26
2.6.1.	Determinación de la productividad y el ancho de la banda.....	27
2.6.2	Determinación de la resistencia o la marcha del transportador...	28
2.6.3	Comprobación de la resistencia de la banda seleccionada.....	30
2.7	Conclusiones del capítulo II.....	32
<b>CAPITULO III: Análisis de los Resultados, Valoración Económica y Medio ambiental</b>		
3.1.	Introducción.....	33
3.2.	Situación actual de la producción en la planta de preparación de pulpa .....	33
3.3.	Resultados de los cálculos de los principales parámetros de la criba.....	34
3.4.	Resultados de los cálculos de los parámetros del cilindro lavador.....	35
3.5	Resultado de los cálculos de los transportadores de banda.....	36
3.5.1.	Resultado de los cálculos del transportador de banda C0-2.....	36
3.5.2.	Resultado de los cálculos del transportador de banda C0-5.....	39
3.5.3.	Resultado de los cálculos del transportador de banda C0-11....	42
3.5.4.	Resultado de los cálculos del transportador de banda C0-12....	44



3.5.5.	Resultado de los cálculos del transportador de banda C0-13....	47
3.5.6.	Resultado de los cálculos del transportador de banda C0-14....	49
3.6.	Medidas propuestas para mejorar la eficiencia de la planta.....	51
3.7.	Impacto Medio Ambiental.....	52
3.8.	Valoración Técnico Económica.....	54
3.9.	Conclusiones del capítulo III.....	56
	<b>Conclusiones Generales.....</b>	<b>57</b>
	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>58</b>
	<b>Bibliografía.....</b>	<b>59</b>
	<b>Anexos.....</b>	<b>62</b>

## INTRODUCCIÓN

En nuestro país hoy en día constituye algo primordial el desarrollo de tecnologías que permitan menos gastos de energía, contaminación y más ahorro de recursos. El incremento de la eficiencia con el uso racional de los recursos que poseemos nos lleva a la búsqueda de productos más competitivos, para sustituir viejos y costosos equipos tecnológicos.

En la actualidad la búsqueda del ahorro de energía esta destinado para la mejora de la industria y otras técnicas que permiten mejorar la eficiencia de los equipos instalados. Sin embargo, no se debe olvidar que desde el comienzo de la era industrial, los ahorros de energía más espectaculares se han conseguidos por modificaciones de los procesos. Son tantas las consideraciones prácticas que podrían hacerse sobre todas las industrias, pudiéndose afirmar que las mayores posibilidades de ahorro de energía se encuentran en la modificación de los procesos.

En los últimos años se han ido desarrollando diversas iniciativas que tienden a la búsqueda de nuevas formas de explotar las considerables capacidades productivas creadas, dentro de los sectores inmersos en un progresivo desarrollo se encuentra el Ministerio de la industria básica, el cual apunta hacia la renovación tecnológica y organizativa de la producción, es decir, nuevas estrategias adecuadas a las nuevas condiciones dentro de las cuales el buen manejo de las variables tecnológicas es un factor de gran importancia.

En los años anteriores aumentaron ligeramente los niveles de producción dentro de la recuperación económica, de donde se deriva que, el equipamiento tecnológico y la técnica existente en esta industria, padece de una sobreexplotación por la necesidad de cumplir los planes y los compromisos contraídos. Esta situación provoca que en estos momentos los equipos tengan generalmente muchos años de explotación, estén deteriorados y atrasados con relación a los equipos homólogos existentes en el mercado internacional, que el monto de la inversión necesaria para el mejoramiento tecnológico de sus equipos sea considerable y que se produzcan importantes interrupciones en el proceso productivo por roturas en su equipamiento.

La situación económica actual en nuestro país se relaciona con los cambios experimentados en la sociedad, así como las relaciones entre plan y mercado. Un papel importante ha jugado también el perfeccionamiento empresarial, siendo uno de los factores que más ha de llevar al desarrollo futuro del país. Los adelantos tecnológicos producidos en los últimos años han motivado el incremento de la importancia que se le concede al estudio del proceso de fabricación de los productos, y como elemento indispensable para el aseguramiento de la cantidad y calidad de la producción, donde se deben de utilizar coordinadamente los hombres, equipos, materiales, energía e información en conjunto con el medio ambiente.

La producción de níquel es fundamental para el desarrollo de la economía cubana, ya que su precio cobra gran auge en el mercado internacional, esto trae consigo la necesidad de buscar nuevas formas y métodos para la ampliación y el incremento de este renglón, lo que ha conllevado a una sobre explotación de la tecnología instalada y un gran desgaste de la misma.

La **Situación Problémica** de la investigación la constituye:

La planta de preparación de pulpa de la Empresa Comandante Pedro Sotillo Alba se diseñó para una capacidad productiva de 910 toneladas / horas, en la actualidad, producto al incremento de la eficiencia, productividad y los costos del níquel en el mercado, se ha ampliado el volumen de procesamiento hasta 1030 t/h sometiendo a una sobreexplotación a todo el equipamiento tecnológico instalado, sumado a que la materia prima que se extrae presenta un aumento de la composición granulométrica y que está provocando el incremento del material de rechazo. Existiendo una deficiente clasificación y transportación del material de rechazo en esta planta con las ocurrencias de averías frecuentes en el sistema.

El **Problema** a investigar lo constituye: La parada de la criba (Sn-06) producto al aumento del mineral de rechazo por los altos volúmenes de producción y el cambio brusco de yacimiento en explotación.

Como **Objeto de la investigación** se establece: El sistema de clasificación, la criba (Sn-06) y el equipamiento de transportación, los transportadores (C0-2, C0-11, C0-12, C0-5, C0-13 y C0-14).

Sobre la base del problema a resolver se establece la siguiente **hipótesis**:

Si se realiza un análisis del equipamiento tecnológico instalado actualmente, se podrá establecer los parámetros tecnológicos reales de la planta y de la línea de rechazo, lo que permitirá trabajar la planta sin interrupciones y se podrá incrementar la capacidad total de la planta.

A partir de la hipótesis planteada, se define como **Objetivo del trabajo**:

Establecer los parámetros que determinan el diseño de los equipos de clasificación y de transportación en la planta de preparación de pulpa que intervienen en circuito de rechazo.

Y se definen los siguientes **Objetivos Específicos**:

1. Identificar las principales propiedades físico-mecánicas que influyen en la transportación del mineral de rechazo.
2. Recalcular los parámetros tecnológicos principales de la criba y el cilindro lavador que componen la línea de rechazo.
3. Recalcular los parámetros tecnológicos principales de los transportadores que componen la línea de rechazo.

Para lograr el cumplimiento del objetivo propuesto, se plantean las siguientes **Tareas de trabajo**:

1. Realizar búsqueda bibliográfica y sistematizar los conocimientos relacionados con el tema.
2. Identificación y búsqueda de las principales propiedades de la materia prima (granulometría, adhesividad, abrasividad, ect.) que procesa la planta.
3. Establecimiento del procedimiento de cálculo para la determinación de los principales parámetros de los equipos que componen la línea de rechazo de la planta de pulpa.
4. Análisis críticos de los resultados de la investigación.
5. Valoración técnica económica y análisis del impacto medio ambiental de la investigación.

## **CAPITULO I: Marco teórico y metodológico de la Investigación**

### **1.1. Introducción**

Las máquinas de transporte continuo y los mecanismos de clasificación constituyen uno de los principales eslabones del proceso tecnológico, tanto en las canteras, plantas de beneficio, talleres, almacenes, así como en las plantas de procesos metalúrgicas. Su objetivo consiste en el traslado de la carga desde un punto a otro y posterior clasificación, creando un flujo de masa o volumen de determinada potencia y dirección. Especial importancia tiene el transporte de mineral laterítico procesado, los materiales de construcción, los minerales de cromo beneficiados, distintas mezclas de sólidos y líquidos, gases y polvos, piezas y partes.

Para la comprensión de su buen funcionamiento, es necesario conocer algunos elementos fundamentales como son, clasificación, características, ventajas, desventajas, elementos que lo componen, etc.

**El siguiente capítulo tiene como objetivo** realizar una búsqueda bibliográfica que permita tener una breve reseña acerca de los trabajos que se han realizado sobre la transportación, el cribado y lavado de materiales en plantas metalúrgicas para así poder determinar los parámetros de la planta de pulpa o de sus elementos independientes, así como realizar una minuciosa descripción de la instalación donde se realizará la investigación.

### **1.2. Trabajos precedentes**

La transportación de minerales para la producción de níquel, por la importancia que reviste para cualquier alternativa de desarrollo de la industria minera, es un tema tratado anteriormente en numerosas investigaciones. Sobre este tema algunos investigadores han desarrollado trabajos acerca de la selección, optimización y uso de los diferentes sistemas de transporte en las empresas del Níquel en Cuba, no siendo así el caso de la trituración, desmenuzamiento de los materiales y clasificación de los mismos. Veamos entonces algunas referencias bibliográficas consultadas.

Rásumov (1985) y Matiushev (1985) establecen una metodología de cálculos de fábricas o plantas de procesamiento de minerales, como principio toma el volumen de producción que se necesita que produzcan estas fábricas, realiza análisis para la construcción de diferentes áreas o talleres de procesamiento como son las áreas de molienda, flotación, plantas de procesamiento de carbón, estableciendo los esquemas, las medidas ambientales para su montaje, así como las normas de seguridad.

Oriol (1986), Oriol (1987) y Oriol et al. (1995) establece las metodologías de cálculos para las diferentes máquinas de transporte continuo, es decir, los transportadores en sus variedades como son los de banda, canjilones, rastrillo, tablillas, etc. Solo hace énfasis en este tipo de máquinas, estableciendo su clasificación, criterios para su selección, características de los materiales a

transportar. Principales parámetros tecnológicos a partir de los materiales a transportar, dispositivo de atesado, ubicación de la unidad propulsora (en el caso de los transportadores de banda la dimensión de la tambora), tipos de rodillos, formas de su ubicación, ancho de la banda, potencia del motor, tipos de freno, así como los materiales para su construcción.

Andéiev (1987) establece los principales parámetros que se deben tener en cuenta para seleccionar o construir las máquinas de trituración, desmenuzamiento y cribado de minerales teniendo en cuenta los diferentes tipos de materiales a procesar y las dimensiones de los trozos, grado de trituración o desmenuzamiento necesario del grano para utilizar por las empresas consumidoras. En el proceso de cribado se realiza un análisis de la criba para determinar la superficie de cribado, tipos de rejillas, tipos de procesos de cribado (manual y a máquina, seco o húmedo), amplitud y frecuencia de las oscilaciones de la caja de la criba, así como la cinética del proceso de cribado y sus características tecnológicas.

Shubin (1984) propone como se determinan los principales parámetros de los molinos y las cribas, exponiendo metodologías de cálculo para la determinación de los parámetros desde el punto de vista de su diseño y construcción, no expuestos por (Andéiev, 1987).

Sierra (2005) y Toll (1993) hace un estudio de los principales parámetros que influyen en la eficiencia de los transportadores de mineral, en específico los transportadores de banda, el análisis se realiza para transportar como materia prima la serpentina, adecuando los diferentes parámetros de cálculo a este material e introduciendo otros criterios diferentes, en el caso del segundo autor se dedica principalmente al equipo transportador y a la materia prima.

Ortiz (2006), Barallobre (2008), Galano (2004), Blanco (2008) y Delfino (2004) realizan su trabajo de diploma en el cálculo del transportadores de diferentes empresas del territorio como la Fábrica Comandante Ernesto Che Guevara y la antigua Camariocas. Estableciendo las metodologías de cálculo de los transportadores de Banda y de otros tipos de transporte, utilizando diferentes pasaportes de bandas transportadoras y proponiendo la forma más eficiente de transportar mineral, así como el uso de una misma metodología de cálculo para transportadores de banda.

Noa (2011) realiza su proyecto de curso en los cálculos para el diseño de un transportador de banda 01 de la planta de carbón de la Empresa Puerto Moa, para después de saber su productividad, seleccionar los elementos estandarizados del transportador y estandarizar las piezas de los otros transportadores. También determina las dimensiones necesarias de la tolva de alimentación para la planta de carbón para un procesamiento anual de 11 000 toneladas, ya que se quería aprovechar el transportador existente.

### 1.3. Descripción del proceso tecnológico de la Empresa

El proceso tecnológico en la que se realiza el trabajo es la fábrica Pedro Sotto Alba y esta consta de siete etapas fundamentales las cuales poseen las siguientes características.

La planta de Preparación de Pulpa es la encargada de beneficiar el mineral extraído de las minas garantizando la granulometría necesaria con un 25% de sólido para luego ser enviada hacia la planta de espesadores de pulpa, esta se encarga de lograr un espesamiento de la pulpa en un 46% hasta un 48% de sólidos en los tanques. Después de realizada la sedimentación del mineral se envía a la planta de lixiviación, en esta planta se logra con ácido sulfúrico y condiciones especiales de presión y de temperatura, pasar selectivamente a líquido el níquel y el cobalto presentes en el mineral.

Posteriormente en la planta de lavaderos se produce el lavado a contracorriente de la pulpa lixiviada para separar de la cola de hierro y el licor con alta concentración de níquel (Ni) y cobalto (Co). El ácido en exceso del licor proveniente de la planta de lavadero se neutraliza con carbonato de calcio (coral) empleado en la planta de neutralización. En esta área también se reduce el hierro (Fe) más el cromo (Cr) y se precipitan el sulfuro de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ) en forma de sulfato de cobre ( $\text{CuS}$ ).

Con el objetivo de precipitar los sulfatos de Ni y Co en forma de sulfuros, utilizando como reactivos químico el ácido sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) en la planta de precipitación de sulfuros. En la planta de secado y derretimiento de azufre se encargan de envasar y secar el sulfuro de Ni + Co para su exportación. La segunda sección tiene el objetivo de derretir el azufre y bombearlo hacia las plantas de ácido sulfúrico en  $\text{H}_2\text{-H}_2\text{S}$  para la producción de ácido sulfúrico con un 98% de concentración y ácido sulfhídrico necesario para el proceso de lixiviación y el proceso de precipitación respectivamente.

Se debe destacar que es un proceso continuo que se realiza en condiciones de presión atmosférica. El equipamiento tecnológico del proceso se distingue por su sencillez y amplia utilización de aparatos conocidos. Estas características favorecen la creación de una producción con alto nivel de mecanización y automatización.

El producto final de la empresa es un óxido en forma de un polvillo, siendo un producto estable de exportación en el mercado mundial y consumo nacional. Además se realiza la extracción complementaria del cobalto en el concentrado de licor y la elaboración de otros productos. La aplicación de esta tecnología permitirá aumentar el por ciento de extracción de cobalto y níquel en la fábrica.

Además la Empresa Comandante Pedro Sotto Alba posee otras áreas como:

- ❖ Termoeléctrica.
- ❖ Puerto con el sistema de recepción, planta de coral y almacenaje de

petróleo.

- ❖ Planta de Tratamiento de Agua.
- ❖ Dique de Cola.
- ❖ Laboratorio central y otras secciones auxiliares.

### 1.3.1. Proceso tecnológico de la planta pulpa

La planta de preparación de pulpa tiene como propósito primordial producir una pulpa acuosa del mineral laterítico a una concentración de 25 % de sólidos y recuperar las partículas de limonita de un tamaño menor de 0.84 mm .Esta Planta fue diseñada con dos unidades iguales e individuales (con algunos equipos en común). Cada unidad es capaz de manipular la capacidad total de la planta, pero normalmente cada tren debe operar con una capacidad no mayor de 455 ton/h. Estos trenes están compuestos por una tolva, transportador de estera, transportador de banda, criba, dos lavadoras de mineral y dos cribas.

El mineral se alimenta a la planta a través de camiones que parten de la mina, los yacimientos son extraídos con buldózers y camiones. Cae por gravedad a una tolva, cuyo tiempo de retención es 9.9 min. De las tolvas, este cae a dos transportadores de cangilones los que poseen una velocidad variable, con el objetivo de controlar lo que se alimenta a la planta. Estos cangilones conducen el mineral a dos transportadores de banda. La velocidad de estos transportadores es constante y tienen una inclinación de 16 grados cada uno. El mineral que pasa a través de estas bandas no debe llevar rocas mayores de 32 pulgadas para evitar roturas de las mismas y del equipamiento continuo.

El mineral es conducido a las cribas, que poseen barras situadas paralelamente a una distancia de 104 mm para separar las partículas mayores y las menores de 104 mm caen por gravedad a través de unos embudos en forma de pantalones a las lavadoras de mineral. En las cribas se añade por primera vez agua en forma atomizada a una presión de 80 lb/pul<sup>2</sup> con el objetivo de romper los terrones de mineral que pasaron a través del embudo y lavar las partículas de mineral que traen las rocas serpentínicas.

La pulpa con partículas de mineral menores de 104 mm cae por gravedad de las cribas vibratorias a las lavadoras de paletas, las cuales desmenuzan a la vez que lavan el mineral. Los pedazos de mineral de mayor tamaño quedan en las lavadoras, formando una cama y la pulpa de 30 % de sólidos que sale de esta por gravedad a las cribas las que separan las partículas mayores de 0.84 mm las que son en su mayoría de carácter serpentínico estas son rechazadas y van al transportador de rechazo (C0-2) y las menores de 0.84 mm se descargan al colector de pulpa en forma de pulpa con 25 % de sólidos alimentándose por gravedad a la planta de espesadores de pulpa a través de una tubería de concreto de 600 mm de diámetro.

El rechazo de las cribas de carácter serpentínico es enviado al circuito de rechazo mediante un transportador (C0-11), el cual descarga a un cilindro lavador que es el encargado de desmenuzar y lavar los terrones de mineral que fueron procesados durante el proceso de clasificación, este producto es descargado a otra criba en la cual ocurre la última clasificación, las partículas de mayor tamaño son transportadas a través de transportadores hasta el depósito del rechazo y la pulpa producto es recolectada en un foso y bombeada por bombas centrífugas para el proceso.

#### **1.4. Equipos instalados en el circuito de rechazo de la planta de pulpa**

Este circuito está compuesto por una serie de equipos que juegan un papel determinado en el procesamiento mecánico de la materia prima, en este caso es la limonita serpentinita, el proceso comienza a partir del vertimiento del material clasificado previamente en la planta en un transportador de banda denominado C0-2, este a su vez transporta el rechazo hasta otro transportador C0-11, el que alimentará una criba cilíndrica o cilindro lavador denominado 112-Sb-01, el que está destinado para el lavado enérgico del mineral, así como la preparación y desgregación de la limonita. Para que posteriormente este mineral sea seleccionado por un mecanismo de clasificación. Este mecanismo antes mencionado es una criba vibratoria denominada Sn-06 y su objetivo es separar las partículas menores de 0.84 mm en forma de pulpa de las demás, en su mayoría serpentínico. Seguido este mineral de rechazo es entregado a un transportador C0-5 el que lo transporta 250 m hasta otro transportador C0-13 que descarga a través de un embudo a otro C0-14 final el que se encarga de depositar el mineral en una pila para una posterior recogida y disposición final.

##### **1.4.1. Ventajas y desventajas de los transportadores de banda**

Los transportadores de bandas poseen las siguientes ventajas con respecto a otros tipos de transporte.

###### **- Ventajas:**

Se logran grandes productividades, seguridad en el trabajo, facilidad para la automatización, posibilidad de variar la productividad en amplio rango, poco consumo de energía durante la explotación, sencillez en las labores de mantenimiento y reparación, posibilidad de cargar y descargar el material transportado en cualquier punto.

###### **- Desventajas:**

Desgaste rápido de la banda (poco tiempo de servicio de la misma) que es el elemento más costoso del transportador; oscila en el orden del 50% del costo total del transportador y dificultad con la transportación de materiales pegajosos.

##### **1.4.2. Ventajas de las bandas como órganos de tracción flexible**

Las bandas como órganos de transmisión flexible presentan ventajas y desventajas que a continuación exponemos.

**-Ventajas**

1. Gran flexibilidad.
2. Poco peso.
3. Altas velocidades (4-6m/s).

**- Desventajas**

1. Transmisión por fricción lo que exige gran tensión inicial.
2. Poca durabilidad para cargas pesadas.
3. Grandes deformaciones por sobre cargas o cambios de temperaturas.
4. Rápido deterioro cuando se producen flexiones en sentidos diferentes (atesadores colgantes).

**1.4.3. Sistema de alimentación**

En el transportador de banda el material que se traslada se pone en contacto con la banda en dos zonas fundamentales que son la de alimentación y la de reposo relativo. Producto a los cambios de dirección del movimiento de las partículas, las variaciones de su velocidad y con ello su deslizamiento y choques fuertes que ocurren durante la operación de alimentación del material.

El transportador puede ser alimentado por uno o varios puntos a lo largo de su trayectoria. Cuando el material alimentado es a granel, la operación de alimentación debe hacerse lo más constante y uniforme posible, ya que el material se alimenta en forma continua.

La operación de alimentación se realiza de dos formas fundamentales:

1. Directamente desde otra máquina transportadora.
2. A través de tolva de alimentación.

La operación de los materiales a granel deberá cumplir ciertas condiciones para garantizar el buen funcionamiento del transportador, como son:

1. El material debe ser alimentado centradamente en la banda y fluir uniformemente.
2. Debe ser disminuido el efecto nocivo que tiene lugar al caer el material sobre la banda y los rodillos de apoyo.
3. No debe producirse derramamiento del material en la zona de alimentación, ni estancamiento.
4. La alimentación no debe realizarse en todo el ancho de la banda.

Cuando se realiza la alimentación desde otra máquina transportadora, se deben utilizar guías o canales de diferentes tipos, que garanticen el no derrame de los materiales y no produzcan estancamiento. Se utiliza solamente guías en el caso de transporte de carga ligera de pequeños tamaños y poco abrasivo. Se emplean guías y canales en el caso de materiales pesados y de gran tamaño y abrasivos. El mayor desgaste de la banda tiene lugar en la zona de alimentación debido al deslizamiento del material por esta y también a los choques producidos durante la caída libre de las partículas, sobre todo de

aquellas que poseen gran tamaño. El deslizamiento del material es resultado de la diferencia de velocidades entre las partículas alimentadas y la banda.

El proceso de alimentación del material (Toll, 1993) sobre la banda, considerando inicialmente que la banda esté totalmente libre del material, es decir, que está vacía. Al caer el material desde cierta altura, las partículas adquieren también cierta energía cinética en virtud de la altura de caída libre y producto de la transformación de la energía potencial en energía cinética.

Este movimiento se ve bruscamente frenado por encontrarse la banda como un obstáculo que impide la continuidad de su movimiento y que esta última, posee otra dirección de movimiento y otra energía cinética. Si la banda no tuviera movimiento y se obviarán las características elásticas de estas y de las partículas, la velocidad de estas al producirse el choque se anularía. Sin embargo en realidad no es así.

Debido a las propiedades elásticas de la banda y de las partículas, ambas se deforman y en mayor medida la banda cuando esta es de goma, propiciando la aparición de grietas y rajaduras al ser vencido su límite de elasticidad y al penetrar las partículas en su estructura. Además sucede el salto de las partículas al ser rechazada por la banda siempre que no supere su límite de elasticidad. El movimiento de la banda arrastra consigo a las partículas que caen sobre ellas y le trasmite su energía cinética por medio de la fricción hasta que quedan en reposo relativo.

Al comenzar la alimentación se produce en toda la zona, con una alimentación perfectamente uniforme (en realidad es muy irregular) en todo el área, la colocación de una primera capa de material que se desplaza conjuntamente con la banda. A esta capa le sigue otra capa que caerá en un intervalo de tiempo ( $dt$ ) posterior. Esta segunda capa no cae completamente sobre la primera ya que debido al movimiento de la banda esta ya se habrá movido una distancia ( $d$ ).

Lo mismo ocurre con las restantes capas, por lo cual se irá incrementando la altura del material depositado en la dirección de la banda en dicha zona. Al mismo tiempo la altura del área de contacto del material con la guarderas laterales se incrementa en la dirección del movimiento ya que esta se comporta como una pared contenedora. Por esta causa el material, al salir de la zona de alimentación y de las guarderas, se acomoda de acuerdo con su ángulo de talud dinámico, llenando el ancho de la banda según la cantidad que haya sido alimentada.

La longitud de la zona de alimentación no es una zona arbitraria, ni tiene porque coincidir con la longitud de las guarderas laterales, su sentido físico coincide con la longitud del desplazamiento del mineral sobre la banda ( $I_d$ ) hasta alcanzar la velocidad de esta, si el material se alimenta verticalmente, entonces:

$$I_d = \frac{v^2}{g}$$

1.1

#### 1.4.4. Transportadores de banda C0-2, C0-5, C0-11, C0-12, C0-13 y C0-14

Su función es transportar carga a granel (limonita-serpentina) a través de una ruta dada, sin que se produzcan paradas producidas por la carga y descarga del material transportado.

Una banda transportadora solo puede proyectarse racionalmente cuando se conocen la capacidad necesaria de transporte, el material a transportar, la forma del mismo, su granulometría, densidad, desnivel a superar y la clase de dispositivo de alimentación a utilizar, o sea continua o discontinua.

La potencia del accionamiento para la velocidad elegida, se calcula en base a los datos anteriores. Una velocidad alta ocasiona tensiones menores y permite generalmente seleccionar una banda más estrecha o más ligera, mientras que el ancho de la banda no este determinado por la granulometría del material.

El principio de los transportadores de banda no es más que una correa sin fin que se mueve alrededor de dos tambores. Debe transportar material de un punto de carga a otro de descarga. Para poner en funcionamiento este sistema de transporte, se necesita una tensión previa introducida mediante el tambor de tensión o dispositivo tensor, para que la fuerza tangencial de la polea motriz pueda accionar la banda.

La capacidad teórica del transporte es un valor de cálculo que, prácticamente, solo puede ser logrado bajo las más favorables condiciones, o sea, transporte totalmente horizontal y absoluta uniformidad de carga.

##### 1.4.4.1. Características técnicas del transportador C0-2 de rechazo

Longitud entre tamboras: 31,3 m.

Capacidad máxima de transporte: 470 toneladas por hora.

Ancho de banda: 750 mm.

Granulometría: 104 mm máximo.

Humedad relativa: 30 %.

Artesa de banda: 20 grados.

Densidad específica: 1,2 t/m<sup>3</sup>.

Velocidad de la banda 2 m/s.

Talud natural mineral: 47 grados.

Talud dinámico transportador: 35.25 grados.

Sistema de tensado por tornillo tensor.

Carga admisible sobre estaciones: 102 kg.

Servicio continuo para 24 horas por día.

Condición medio ambiente: agresivo.

Factor de impacto: 1,0.

Rodillos diámetros: 127 mm.

Distancia de la estación portante: 0,75 m.

Factor de velocidad para un rodillo de 127 mm de diámetro: 1,0.

Distancia estación retorno: 2,5 m.

Estación de accionamiento, bastidor, cabeza motriz:

Dimensiones del tambor motriz, mm: 400 x 900.

Dimensiones del tambor auxiliar, mm: 300 x 900.

Dimensiones del tambor de retorno, mm: 350 x 900.

Rascador de limpieza de goma en estación primaria.

Potencia del motor eléctrico: 22 kW.

#### **1.4.4.2. Características técnicas del transportador C0-5 de rechazo**

Longitud entre tamboras: 250 m.

Capacidad máxima de transporte: 170 toneladas por hora.

Ancho de banda: 650 mm.

Granulometría: 104 mm máximo.

Humedad relativa: 26 %.

Artesa de banda: 20 grados.

Velocidad de la banda: 2 m/s

Densidad específica: 1,2 t/m<sup>3</sup>.

Talud natural mineral: 47 grados.

Talud dinámico transportador: 35,25 grados.

Sistema de tensado por tornillo tensor.

Carga admisible sobre estaciones: 102 kg.

Servicio continuo para 24 horas por día.

Condición medio ambiente: agresivo.

Factor de impacto: 1,0.

Rodillos diámetros: 135 mm.

Distancia de la estación portante: 1,1 m.

Factor de velocidad para un rodillo de 135 mm de diámetro: 1,0.

Distancia estación retorno: 2.9 m.

Estación de accionamiento, bastidor, cabeza motriz:

Dimensiones del tambor motriz, mm: 900 x 800.

Dimensiones del tambor auxiliar, mm: 350 x 800.

Dimensiones del tambor de retorna, mm: 500 x 800.

Rascador de limpieza de goma en estación primaria.

Potencia del motor eléctrico: 18.5 kW.

#### **1.4.4.3. Características técnicas del transportador C0-11 de rechazo**

Longitud entre tamboras: 36,5 m.

Capacidad máxima de transporte: 470 toneladas por hora.

Ancho de banda: 750 mm.

Densidad específica: 1,2 t/m<sup>3</sup>.

Granulometría: 104 mm máx.

Humedad relativa: 30 %.

Talud natural mineral: 47 grados.

Talud dinámico transportador, máx. 35.25 grados.

Artesa 20 grados.

Velocidad de la banda: 2 m/s.

Ángulo de inclinación: 10°.

Desnivel a superar: 6,5 m.

Sistema de tensado por contrapeso de 1,024 toneladas.

Velocidad estimada del transportador: 2 m/seg.

Ángulo de sobrecarga: 20 grado.

Régimen de servicio: 24 horas por día.

Medio ambiente: condiciones agresivas.

Factor de impacto: 1,0.

Factor de velocidad para diámetro rodillo 127 mm: 1,0.

Distancia estación portante: 0,84 m

Distancia de la estación de retorno: 2,4 m.

Estación de accionamiento:

Dimensiones del tambor motriz, mm: 400 x 900.

Dimensiones del tambor auxiliar, mm: 320 x 900.

Dimensiones del tambor tensor del contrapeso, mm: 350 x 900.

Dimensiones del tambor auxiliar de contrapeso, mm: 300 x 900.

Dimensiones del tambor de retorno, mm: 370 x 900.

Rodillos diámetros: 127 mm.

Rascador de limpieza de goma en estación primaria.

Potencia del motor eléctrico: 22 kW.

#### **1.4.4.4. Características técnicas del transportador C0-12 de rechazo**

Longitud entre tamboras: 4,8 m.

Capacidad máxima de transporte: 170 toneladas por hora.

Ancho de banda: 750 mm.

Granulometría: 104 mm máximo.

Humedad relativa: 26%.

Artesa de banda: 20 grados.

Talud natural mineral: 47 grados.

Talud dinámico transportador: 35,25 Grados.

Angulo de inclinación: 10°.

Desnivel a superar: 1 m.

Sistema de tensado por tornillo tensor.

Carga admisible sobre estaciones: 102 kg.

Servicio continuo para 24 horas por día.

Condición medio ambiente: agresivo.

Factor de impacto: 1,0 t/m<sup>3</sup>.

Rodillos diámetros: 127 mm

Distancia de la estación portante: 0,3 m.

Factor de velocidad para un rodillo de 127 mm diámetro: 1,0.

Distancia estación retorno: 1,35 m.

Estación de accionamiento, bastidor, cabeza motriz:

Dimensiones del tambor motriz, mm: 400 x 850.

Dimensiones del tambor auxiliar, mm: 350 x 850.

Dimensiones del tambor de retorno, mm: 350 x 850.

Rascador de limpieza de goma en estación primaria.

Potencia del motor eléctrico: 13 kW.

#### **1.4.4.5. Características técnicas del transportador C0-13 de rechazo**

Longitud entre tamboras: 10,82 mm.

Capacidad máxima de transporte: 170 toneladas por hora.

Ancho de banda: 750 mm.

Granulometría: 104 mm máximo.

Humedad relativa: 26 %.

Artesa de banda: 20 grados.

Talud natural mineral: 47 grados.

Talud dinámico transportador: 35,25 Grados.

Desnivel a superar: 3 m.

Angulo de inclinación: 15 grados.

Sistema de tensado por tornillo tensor

Carga admisible sobre estaciones: 102 kg.

Servicio continuo para 24 horas por día.

Condición medio ambiente: agresivo.

Factor de impacto: 1,0 t/m<sup>3</sup>.

Rodillos diámetros: 127 mm

Distancia de la estación portante: 0,59 m.

Factor de velocidad para un rodillo de 127 mm diámetro: 1,0.

Distancia estación retorno: 1,8 m.

Estación de accionamiento, bastidor, cabeza motriz:

Dimensiones del tambor motriz, mm: 400 x 850

Dimensiones del tambor auxiliar, mm: 350 (8") x 850

Dimensiones del tambor de retorna, mm: 400 x 850

Rascador de limpieza de goma en estación primaria.

Potencia del motor eléctrico: 13 kW.

#### **1.4.4.6. Características técnicas del transportador C0-14 de rechazo**

Longitud entre tamboras: 41m.

Capacidad máxima de transporte: 170 toneladas por hora.

Ancho de banda: 750 mm.

Granulometría: 104 mm máximo.

Ángulo de inclinación del transportador: 17 grados.

Desnivel a superar: 12.5 m.

Humedad relativa: 26%.

Artesa de banda: 20 grados.

Talud natural mineral: 47 grados.

Talud dinámico transportador: 35,25 grados.

Sistema de tensado por Tornillo tensor

Carga admisible sobre estaciones: 102 kg.

Servicio continuo para 24 horas por día.

Condición medio ambiente: agresivo.

Factor de impacto: 1,0 t/m<sup>3</sup>.

Rodillos diámetros: 127 mm

Distancia de la estación portante: 0.59 m.

Factor de velocidad para un rodillo de 127 mm diámetro: 1,0.

Distancia estación retorno: 1.8 m.

Estación de accionamiento, bastidor, cabeza motriz:

Dimensiones del tambor motriz diámetro, mm: 450 x 900

Dimensiones del tambor auxiliar diámetro, mm: 300 x 900

Dimensiones del tambor de retorna diámetro, mm: 350 x 900

Rascador de limpieza de goma en estación primaria.

Potencia del motor eléctrico: 22 kW.

#### **1.4.5. La criba de tambor**

Los cilindros lavadores son máquinas diseñadas para acondicionar las rocas y minerales que traen consigo un fuerte contenido de tierras y arcillas. Este acondicionamiento se efectúa mediante el volteo y friccionado al que son sometidos los materiales.

Reúne las siguientes características:

- Gran facilidad de instalación y utilización.
- Lavado a contra-corriente.
- Economía del mantenimiento.

Los elementos principales que componen los mismos son:

Bastidor:

Construido en perfiles de acero laminado. Dispone de los elementos de rodadura, accionamiento, canaletas de entrada y salida, etc. Todo el conjunto es de gran accesibilidad y fácil mantenimiento.

Cilindro lavador:

Construido en chapa de acero laminado y reforzado por dos anillos para soportar las cargas axiales, que se apoyan sobre el rodillo guía del bastidor. Forrados interiormente con chapa de acero al manganeso o goma antiabrasiva.

Elementos de rodadura:

Consta de dos ejes, uno a cada lado, con 4 ó 6 ruedas de neumáticos, según dimensiones. El eje motriz lleva acoplado los elementos de transmisión. El otro es de giro libre.

Accionamiento:

Mediante reductor de fabricación normal de alta calidad.

#### 1.4.5.1 La criba de tambor o cilindro lavador 112-Sb-01

Es un equipo dinámico que se utiliza para lavar el mineral como un procedimiento de separación de minerales áridos, en esta ocasión es la limonita. En la superficie de trabajo presenta 8 tamices planos, que forman la superficie lateral de un prisma. También presenta en su interior 16 barras paralelas, las que sujetan los tamices a la pared interior del cilindro con pernos, estas barras tienen la función de golpear los terrones de mineral y desmenuzarlo con el objetivo de hacer una pulpa acuosa.

Este cilindro descansa sobre 12 neumáticos y es impulsado por tres motores de 65 kW, 101 Amperes y 1200 rev/min, estos neumáticos están acoplados a tres reductores. Los motores son controlados por un variador de velocidad, el cual regula la velocidad máxima y mínima de rotación del cilindro.

#### 1.4.5.2. Principales parámetros de la criba o cilindro lavador (112-Sb-01)

Productividad.....	100 ton/h.
Ángulo de inclinación.....	1 Grado.
Velocidad de rotación máxima.....	22 rev/min.
Velocidad de rotación mínima.....	4 rev/min.
Largo.....	5800 mm.
Ancho.....	2750 mm.
Diámetro de la abertura.....	700 mm.
Diámetro de la descarga.....	900 mm.
Cantidad de motores eléctricos: .....	3
Potencia del motor eléctrico:.....	65 kW.

#### 1.4.6. Las cribas vibratorias.

Las cribas vibratorias constan de un cajón clasificador fabricado en placas de acero y estructurado con marcos porta telas de alambre de acero intercambiables. Fuentes de vibraciones por medio de un eje excéntrico de acero maquinado, acoplado a una funda protectora y montado en chumaceras de acero tipo brida, embalada con rodamientos autolineables. Suspensión por medio de resortes de acero templado. Bastidor de soporte de acero estructural electrosoldado.

Los equipos de clasificación principalmente son sistemas vibratorios, rotatorios y neumáticos. Los primeros se usan principalmente en la clasificación de grandes volúmenes de balastro, gravas y arena). El segundo, se recomienda para clasificaciones más precisas y de tamaño más fino. Y la tercera clasificación, los neumáticos, son para la separación de materiales impalpables o de malla 100 a finos.

#### Condiciones de funcionamiento

Una criba vibratoria se utiliza para separar y limpiar materiales en tamaños diferentes. Se utilizan en las industrias del cemento, minería, construcción y de gestión de residuos.

En el entorno hostil y altamente contaminado de una criba vibratoria, incluso los equipos de mayor calidad pueden averiarse inesperadamente debido a una sobrecarga o fallo de un componente. Debido a ello, los propietarios de los equipos experimentan aplicando unos costos de mantenimiento e inactividad inaceptablemente elevados, mientras que los fabricantes de los equipos se enfrentan a elevados costos de garantía y a la insatisfacción de los clientes. Hasta ahora, no existen soluciones reales a este problema. Para evitar paros costosos y las reparaciones caras, muchos usuarios optan por la prudencia, realizando un sobremantenimiento en los equipos y reemplazando los rodamientos más a menudo de lo necesario.

Incluso en estos casos, los fallos siguen siendo habituales. Y cuando las cribas fallan catastróficamente, los daños a los ejes y a los otros componentes, pueden significar importantes costos de reparación y una mayor pérdida de tiempo productivo.

#### **1.6.1. La criba vibratoria Sn-06**

Esta criba como su nombre lo indica su función es de cribar el mineral y recolectar las partículas menores de 0,84 mm y depositar las mayores en un transportador de banda. Esta presenta paños de maya de poliuretano los que se emplean en el cribado de materiales abrasivos como lo es la serpentinita.

El movimiento de la misma se lo transmiten dos motores vibradores de 8 kW, de 12,4 A y 1200 rpm sujetos a la carcasa en la parte superior por 6 tornillos cada uno, la criba se encuentra suspendida por 8 muelles los que aumentan la transmisión de las oscilaciones facilitando el cribado y mejorando la efectividad de la misma, estas máquinas provocan mucho ruido afectando el medio circundante.

#### **1.4.6.2. Principales parámetros de la criba Sn-06**

Rendimiento ( $t/h$ ): 300

Dimensiones de la superficie de cribado:

Anchura: 2000 mm.

Longitud: 5000 mm.

Cantidad de pisos de tamices: 1

Amplitudes de las oscilaciones: 4 mm

Cantidad de oscilaciones por minuto: 700 rev/min.

Dimensiones iniciales de los trozos: 104 mm.

Potencia del motor eléctrico: 8 kW.

Dimensiones de la criba:

Longitud: 5200 mm.

Anchura: 2200 mm.

Masa de la criba (sin el motor eléctrico y bastidor): 6000 kg.

Cantidad de motores: 2.

Potencia del motor eléctrico: 8 kW.

### 1.5. Propiedades físico-mecánicas de los materiales a granel. Definiciones

Las cargas a granel se caracterizan por sus propiedades, dentro de las cuales podemos mencionar su granulometría, masa volumétrica, abrasividad, humedad, entre otras. A continuación definimos de forma breve algunas de ellas para su mayor conocimiento según (Oriol, 1995).

**Composición granulométrica:** es la distribución cuantitativa de las partículas según su tamaño. Esta propiedad determina la distribución de dichas partículas de acuerdo con sus medidas. Según este término las cargas pueden ser clasificadas o divididas en corrientes y clasificadas.

**Peso volumétrico:** este puede darse con respecto al macizo o al granel. El peso volumétrico en el macizo, es el peso de  $1 \text{ m}^3$  de roca monolítica, secada a una temperatura de  $100 - 105 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . El peso volumétrico a granel, es el peso de  $1 \text{ m}^3$  de roca destrozada. La unidad de esta magnitud es en  $\text{t/m}^3$ .

**Coefficiente de mullido o esponjamiento:** se denomina así a la relación existente entre el volumen de la roca y el macizo, al tener ambos la misma masa. El valor de este coeficiente es siempre mayor que la unidad y expresa el aumento del volumen de la roca destrozada, comparado con su volumen en el macizo.

**Ángulo de reposo:** es el ángulo que forma la superficie lateral del material destrozado, con la superficie horizontal. Este ángulo depende de la movilidad de las partículas de las cargas a granel.

El talud de este ángulo depende del tipo de material, humedad, forma, granulometría, etc. Mientras mayor movilidad posean las partículas, menor será el valor de este ángulo. Esta movilidad mutua de las partículas depende de las fuerzas de cohesión y del coeficiente de fricción. Según el estado del material (humedad, temperatura, compresión) y de su granulometría, este tendrá diferentes ángulos de reposo.

**Humedad:** se denomina así a la presencia de agua (no enlazada químicamente) en forma de capa superficial rodeando a las partículas u ocupando los espacios libres entre ellas. Este valor se expresa en %.

## 1.6. Conclusiones del Capítulo I

- ❖ En la bibliografía analizada o estudiada se observa que los diferentes elementos que componen las plantas de preparación de mineral han sido ampliamente estudiados de forma independiente por varios autores.
- ❖ Se ha caracterizado el proceso de la planta y con ello los equipos que se utilizan en la línea de rechazo de la planta de pulpa.
- ❖

## Capítulo II- Materiales y métodos de investigación

### 2.1. Introducción

Los principales parámetros constructivos de los transportadores y cribas se pueden ser definidas y obtenidas a partir de las metodologías expuestas por Oriol (1988), Shuvin (1986) y Andréiev (1987). De las combinaciones de las mismas se propone el cálculo de estos equipos.

**El objetivo de este capítulo** es crear los métodos y procedimientos necesarios que permitan cumplir con los objetivos propuestos en el trabajo.

### 2.2. Instrumentos de medición necesarios

Para la realización de este trabajo se necesitan una serie de instrumentos y equipos necesarios que sean capaces de garantizar los cálculos en el capítulo III, por tanto lo relacionamos a continuación:

1. La cinta métrica: para la medición de las superficies de las piezas, como diámetros, altura y longitud de los transportadores, etc.
2. Calibrador o pie de rey: con 0,05 mm de error: para la comprobación de las dimensiones de las piezas más pequeñas.
3. Nivel: para garantizar la comprobación de ángulos rectos y de  $45^{\circ}$  de la instalación.
4. Tacómetro: para medir el número de revoluciones del motor.
5. Goniómetro: para garantizar la medición de los ángulos desde  $0^{\circ}$  hasta  $360^{\circ}$  de las piezas.
6. Pesas: se utilizan para medir la cantidad de mineral que pasan por los transportadores.
7. Cilindro hueco: para medir el talud del mineral.
8. Cronómetro: para medir la velocidad de la banda

### 2.3. Características de la materia prima

La materia prima de la planta pulpa de la Empresa Pedro Sotto Alba es un mineral laterítico que se extrae de los yacimientos a cielo abierto, es de color amarilloso con un 45 % de hierro, cuenta con 9 elementos donde los principales son el níquel y el cobalto para nuestro proceso.

La serpentina es un mineral común y corriente, generalmente presente como producto de alteración de ciertos silicatos magnésicos, especialmente olivino, piroxenos y anfíboles. Aparece asociada frecuentemente con la magnesita, la cromita y magnetita. Se da tanto en las rocas ígneas como en las metamórficas; frecuentemente se presenta en partículas diseminadas, en algunos lugares lo hace con tal cantidad que llegan a formar prácticamente la masa entera de la roca. En la tabla 2.1 se puede observar la composición

química de la serpentina y minerales de limonita que es procesado por la empresa.

Tabla 2.1. Composición química de la fase sólida alimentada a la planta.

Componentes	Contenido %	Componentes	Contenido %
Níquel (Ni)	1.20 – 1.33	Cobre (Cu)	0.02
Cobalto (Co)	0.12 - 0.13	Aluminio (Al)	4.0 – 4.9
Hierro (Fe)	47.5	Zinc (Zn)	0.040
Magnesio (Mg)	0.4 – 0.8	Cromo (Cr)	1.5 – 2.3
Manganeso (Mn)	0.65 – 1.0	Silice (SiO <sub>2</sub> )	3.5 – 4.5

Para determinar la granulometría del material se emplea el método de tamizado, haciendo pasar la muestra a granel a través de un juego de tamices de manera que se determinen las porciones de dicho material. Se tomo una muestra de 555 gramos y el resultado del tamizado se observa en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Granulometría del mineral laterítico.

Tamaño (mm)	+100	<75	<50	<25	<12.5	<6.3	<3	<1	<0.5	<0.25
g	100	98.9	87.7	76	61.8	49.7	40.1	23	12.1	4.6

La composición química del material transportado por la línea de rechazo de la planta de pulpa de la Empresa Pedro Sotto Alba se puede observar en la tabla 3.3 después de realizados varios análisis.

Tabla 3.3 Composición química promedio de los principales elementos que componen los minerales de serpentina que pasa por la línea de rechazo.

<b>Comp.</b>	NiO	FeO <sub>(T)</sub>	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CoO	MnO
<b>Prom.</b>	2.0	14.80	38.10	22.46	1.50	0.06	0.333
<b>Comp.</b>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CuO	CaO	Zn	P	S	LOI
<b>Prom.</b>	0.833	0.010	1.50	0.014	0.01	0.02	12.0

En la tabla 2.4 aparecen un grupo de datos del mineral a transportar en el proceso tecnológico de la planta de pulpa de Empresa Pedro Sotto Alba.

Tabla 2.4 Características del mineral a transportar en el circuito de rechazo.

Material	Serpentina
Velocidad de alimentación	470 t/h
Densidad del mineral a granel (húmedo)	1.2 t/m <sup>3</sup> (1200Kg. / m <sup>3</sup> )
Angulo de reposo	47°
Contenido de humedad (húmedo)	26 – 30 %
Contenido de humedad (seco)	4.5 %
Tamaño máximo a procesar	104 mm
Tamaño mínimo a procesar	+0.84 mm
Temperatura	30 °C
Abrasividad	Abrasivo

Fluidez	Adhesivo
---------	----------

### 2.3.1 Características del Material desechado

El rechazo de la planta de preparación de pulpa, como lo expresa la palabra es un desperdicio de esta unidad de producción, lo constituyen la fracción de serpentina cuyas partículas de mineral son mayores de 0,84 mm en su mayoría y menores de 104 mm, este mineral es un conjunto de roca sólida a la que se le da uso en algunas áreas de la minería como en la confección y reparación de caminos, también tiene un alto valor en hierro, manganeso y cromo por lo que no es utilizable para el proceso. Este material por su contenido mineralógico no se desperdicia sino que se guarda en una presa de rechazo para su posterior uso y explotación.

### 2.4. Determinación de los principales parámetros de la criba

En la planta de pulpa de la Empresa Comandante Pedro Sotto Alba se utilizan 11 cribas de vaivén, pero en nuestro estudio solo nos interesa la criba Sn-06, la cual se encuentra ubicada en la línea de rechazo de la planta de preparación de mineral que es objeto de estudio en este trabajo. La misma posee las siguientes dimensiones 5,20 metros de largo x 2,00 metros de ancho, los tamices están ubicados de forma horizontal en toda el área de trabajo de la misma y son de medida 300 mm x 660 mm.

1- Determinación del área de cribado ( $A_{cr}$ ).

$$A_{cr}=0.85*A*B, \text{ en m}^2 \quad 2.1$$

Donde:

A- ancho de la criba, (m).

B- largo de la criba, (m).

2- Sección activa de la rejilla (L).

$$L = \frac{l * b}{(b + a)(l + a)} * 100 \text{ en \%} \quad 2.2$$

Donde

l- tamaño de los orificios del tamiz, (m).

a- diámetro del alambre del tamiz, (m).

3- Diámetro del grano (d) que pasa libremente por los agujeros.

$$d=l*\cos\alpha-h*\sen\alpha, \text{ en m} \quad 2.3$$

Donde:

$\alpha$ - ángulo de inclinación del tamiz, (grados).

h- espesor del tamiz, (m).

4- Velocidad de los granos (V) por la superficie cribante.

$$V = (l - \frac{d}{2}) * \sqrt{\frac{g}{d}}, \text{ en m/s} \quad 2.4$$

Donde:

g- constante de la gravedad, igual  $9,81 \text{ m/s}^2$ .

4- Amplitud (a) y frecuencia de las oscilaciones (n) de la caja.

$$a=0,004+0,014 \cdot l, \text{ en m} \quad 2.5$$

$$n = 265 \sqrt{\frac{l}{r}}, \text{ en rpm} \quad 2.6$$

Donde:

r- radio de las oscilaciones, (m).

5- El rendimiento masivo de las cribas de vaivén se determina por la siguiente ecuación:

$$Q = A_{cr} \cdot q \cdot \delta \cdot k \cdot l \cdot m \cdot n \cdot o \cdot p, \text{ en t/h.} \quad 2.7$$

Donde:

$\delta$ - peso específico del material cribado, en  $\text{t/m}^3$

q- rendimiento medio en un  $1 \text{ m}^2$  de superficie del tamiz, ( $\text{m}^3/\text{h}$ ). Tabla 9 página 124 de texto (Andreiev, 1987).

K, l, m, n, o, p- coeficiente correctivos del material, Tabla 10 página 128 de texto (Andreiev, 1987).

El rendimiento o eficiencia de cribado ( $E$ ) o rendimiento de paso expresa el porcentaje de producto fino de la alimentación que pasa a través de la criba. Aunque es un valor muy complejo de obtener, ya que depende de gran cantidad de factores, existen varias fórmulas por la cual se pueden realizar estos cálculos. Los factores que influyen en el rendimiento de pasos se pueden resumir en los siguientes:

Factores propios de la superficie de cribado: dimensión, forma de las aberturas, perfil de la sección de paso, inclinación, superficie libre de paso, etc.

Factores propios del producto a cribar: granulometría, coeficiente de forma, distribución de tamaños, humedad, plasticidad, etc.

Factores propios del movimiento de la criba: frecuencia del movimiento, amplitud, coeficiente de aceleración, ángulo de trabajo, etc.

Todos estos factores permiten determinar un coeficiente de cribado:

$$K_v = \frac{a n^2 \cdot \text{sen}(\alpha + \beta)}{90000 \cdot \cos \beta} \quad 2.8$$

Donde:

a - amplitud del movimiento, (cm).

n - velocidad angular, (rev/min).

$\alpha$  -ángulo de reposo del material a cribar, (grado).

$\beta$  - ángulo del paño respecto a la horizontal, (grado).

$K_v$ - coeficiente de cribado, puede estar comprendido entre 1,5 y 2 para un cribado fácil, entre 2 y 2,5 para un cribado normal y entre 3 y 3,5 para uno difícil.

Factores propios de las condiciones de trabajo de la criba son: número de paños, ritmo de alimentación, coeficiente de disponibilidad, eficiencia, etc.

Una de las fórmulas más empleadas para la determinación de la eficiencia, es la descrita a continuación: si C es la masa debajo de la criba, Q es la masa del material inicial y  $\alpha$  es el contenido de la clase inferiores en el material inicial en porcentajes, esta se aplica respectivamente al material en la alimentación y al que pasa por encima de la criba, el rendimiento o eficiencia de cribado viene dado por la fórmula:

$$E = \frac{C}{Q * \alpha} * 10^4, \text{ en \%} \quad 2.9$$

Chubin (1984) también nos permite determinar el número de revoluciones de la criba y otros parámetros como pueden ser:

Potencia sumaria consumida ( $N_m$ ).

$$N_m = \frac{G_e * f * r * n}{975 * \eta} * \left( \frac{n^2 * e}{900} + 1 \right), \text{ en kW} \quad 2.10$$

Donde:

$G_e$ - peso de la criba con material, (kg).

r- radio del disco de la excéntrica, (m).

$\eta$ - eficiencia del mecanismo de transmisión. Se toma entre 0.85 a 0.9.

e- excentricidad, (m).

## 2.5. Criba de tambor o cilindro lavador

Las cribas de tambor o cilindros lavadores en dependencia de las formas de estos pueden ser cilíndricas o cónicas. Las superficies interiores de las mismas están constituidas de láminas de acero o revestidas de goma también se cuelgan cadenas y se instalan anaqueles en dependencia de lo que se desee procesar o lavar. Estos equipos en su totalidad son voluminosos y su peso es variable, lo que hace difícil su transportación, su mecanismo impulsor pueden ser a través de motores acoplados a reductores o impulsados por poleas y correas, estas cribas de tambor encuentran uso en el lavado energético, la desintegración por fricción y el cribado con lavado de minerales y áridos extraídos de placeres que contienen arcilla. Las desventajas principales de las cribas de tambor son su voluminosidad, el rendimiento específico pequeño y una baja efectividad principalmente en el cribado fino, por estas causas no se usan para el cribado seco excepcionalmente los lavaderos.

### 2.5.1. Determinación de los principales parámetros de la criba de tambor

A continuación se expone la metodología de cálculo de los principales parámetros de la cribas de tambor:

1- Diámetro medio del cilindro lavador ( $D_m$ ).

$$D_m = \frac{D_e + D_s}{2}, \text{ en m} \quad 2.11$$

Donde:

$D_e$ - diámetro de entrada del cilindro lavador, (m).

$D_s$ - diámetro de salida del cilindro lavador, (m).

2- Ángulo de inclinación del cilindro lavador ( $\alpha$ ).

$$\alpha = \frac{A \tan(D_s - D_e)}{2 \cdot L}, \text{ en grado} \quad 2.12$$

Donde:

L- longitud del cilindro lavador, (m).

3- Radio medio del cilindro Lavador ( $r_m$ ).

$$r_m = D_m / 2, \text{ (m)} \quad 2.13$$

4- Coeficiente de llenado ( $\varphi$ ).

$$\varphi = \frac{A \cos(r / r_m) - r \sqrt{r_m^2 - r^2}}{180 \pi}, \text{ en grados} \quad 2.14$$

5- Velocidad de rotación crítica ( $V_{crit}$ ).

$$V_{crit} = \frac{42,3}{\sqrt{r_m}} \quad 2.15$$

6- Velocidad de desplazamiento del mineral ( $w$ ).

$$w = \frac{\pi \cdot r_m \cdot n \cdot \tan g(\alpha)}{30} \quad 2.16$$

Donde:

$V_r$ - velocidad de rotación del cilindro lavador, (rev/min).

7- Productividad (Q).

$$Q = 3600 \cdot \frac{w \cdot \pi \cdot (2 \cdot r_m)}{\varphi \cdot \gamma \cdot \psi} \quad 2.17$$

Donde:

$\gamma$ - peso específico del material, ( $t/m^3$ ).

$\psi$ - coeficiente de porosidad del material.

8- Tiempo de permanencia ( $T_p$ ).

$$T_p = \frac{L}{W}, \text{ en seg.} \quad 2.18$$

9- Peso del material dentro del tambor ( $G_0$ ).

$$G_0 = \frac{\pi \cdot D_m}{1000 \cdot 4L \cdot \psi}, \text{ en kg} \quad 2.19$$

10- Momento de resistencia (M).

$$M = 2 \cdot G_o \cdot r_m \cdot f, \text{ en kg.m} \quad 2.20$$

Donde:

f- Coeficiente de fricción.

11- Potencia del motor (N).

$$N = \frac{V_r \cdot M}{974} \cdot 1,3 \cdot \gamma, \text{ en kW} \quad 2.21$$

## 2.6. Determinación de los principales parámetros de los Transportadores

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

- 1- Proyectar un nuevo transportador a partir de algunos de los datos de la empresa.
- 2- Comprobación de un transportador ya instalado, comparándolo con los datos de otro que ya se conoce, o simplemente realizando los cálculos para conocer sus parámetros desconocidos.

Analizaremos el segundo caso, que es motivo de este trabajo de tesis. Durante el mismo tendremos el siguiente orden de cálculo utilizado en los trabajos (Sierra, 2005), (Toll, 1993), (Ortiz, 2006), (Barallobre, 2008), (Galano, 2004), (Blanco, 2008) y (Delfino, 2004), debido a que nos ofrecen valores más reales que los expuestos por (Oriol, 1986), (Oriol, 1987) y (Oriol et al. 1995).

- 1- Podemos tener los datos de productividad y determinar el ancho de la banda. El ancho de la banda escogido debe ser menor que su ancho real. Si conocemos el ancho de la banda, calculamos la productividad del transportador y seleccionamos de un catálogo el transportador adecuado.
- 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, la relación de los diámetros de los tambores motrices (en caso de que existan más de uno).
- 7- Se determina la potencia del motor y se escoge según los catálogos.
- 8- Se determinan los gastos de energía eléctrica durante la transportación.

Para realizar este cálculo es necesario tener una serie de datos como son:

- 1- La productividad de la empresa; 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 en ( $t/m^3$ ) y el ángulo del talud.
- 5- El tiempo de trabajo al año.

### 2.6.1. Determinación de la productividad y el ancho de la banda

Conociendo la productividad de la empresa (A), podemos conocer la productividad del transportador que se necesita (plan) según la ecuación 2.22.

$$Q = \frac{A \cdot K_i}{T}; \text{ en t/h} \quad 2.22$$

Donde:

Q- productividad planificada del transportador, (t/h).

A- productividad anual de la empresa, (t/año).

T- tiempo de trabajo al año, (h/año).

$K_f$ - coeficiente de irregularidad en el trabajo, en transportadores principales toma valores entre 1,11 a 1,25.

Cálculo del ancho de la banda (B) necesario si conocemos la velocidad de la banda (v) del transportador para mantener dicha productividad.

$$B = 1,1 \cdot \left( \sqrt{\frac{Q}{K_c \cdot v \cdot \varphi \cdot \gamma}} + 0,05 \right); \text{ en (m)} \quad 2.23$$

Donde:

$K_c$ - coeficiente que tiene en cuenta la forma de la banda, ver en anexo (tabla 2).

v- velocidad de movimiento de la banda, (m/h).

$\varphi$ - coeficiente de disminución de la productividad que tiene en cuenta el ángulo de inclinación del transportador, toma valores de 0,92 a 1, es 1 cuando hay un tramo horizontal. Ver en anexos la tabla 1.

$\gamma$ - peso volumétrico del material a transportar, (t/m<sup>3</sup>).

Q- productividad, (t/h).

Luego de determinado el valor por cálculo se determina el valor óptimo del ancho de banda estandarizado según el tamaño de partículas del material a transportar. Para cargas clasificadas con contenido principal de pedazos con un tamaño determinado (a) en una proporción de aproximadamente el 80% de la masa total se determina por la ecuación 2.24.

$$B \geq (3,3a^{4,6})a_{med}; \text{ (mm)} \quad 2.24$$

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 por el manual de bandas a utilizar.

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.

$$V_R = \frac{Q}{K_c \cdot \varphi \cdot (0,9 \cdot B - 0,05)^2}; \text{ en m/s} \quad 2.25$$

Donde:

Q- debe convertirse en m<sup>3</sup>/h.

## 2.6.2. Determinación de la resistencia o la marcha del transportador

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

- Peso lineal de la banda ( $qb$ ).
- Peso lineal de los rodillos de apoyos ( $qr'$  y  $qr''$ ).
- Peso lineal de la carga ( $qc$ ).

El peso lineal de la banda lo determinamos según la ecuación 2.26 pero esta depende del tipo de banda que se utilice, es decir del catalogo que nos permite extraer las informaciones:

$$qb = \gamma_b \cdot (\delta \cdot i + h_1 + h_2); \text{ en N/m} \quad 2.26$$

Donde:

$\gamma_b$ - peso volumétrico de la banda, ( $\text{N/m}^3$ ).

$\delta$ - espesor de una capa, (m). Varía de 1 a 3 mm.

$i$ - número de capas. Se toma de forma arbitraria mayor que 3.

$h_1$ - espesor del revestimiento superior, (m).

$h_2$ - espesor del revestimiento inferior, (m).

$h_1 = (2 \text{ a } 8)$ ; en (mm).

$h_2 = (2 \text{ a } 3)$ ; en (mm).

Peso lineal de la carga ( $qc$ ).

$$qc = \frac{Q}{3,6 \cdot V}; \text{ en kg/m} \quad 2.27$$

El peso lineal de los apoyos de los rodillos se determina por las ecuaciones:

- Para la rama cargada:

$$qr' = \frac{n \cdot Gr'}{l_r'}; \text{ en N/m} \quad 2.28$$

- Para la rama vacía:

$$qr'' = \frac{Gr''}{l_r''}; \text{ en N/m} \quad 2.29$$

Donde:

$Gr'$  y  $Gr''$  → Peso de los apoyos de los rodillos en la rama cargada y vacía respectivamente, (N).

$l_r'$  y  $l_r''$  → Distancia entre rodillos de apoyo en la rama cargada y vacía respectivamente, (m). Toman valores según:  $l_r' = (0,9 - 1,5)$ , en m y  $l_r'' = 2 \cdot l_r'$ .

$n$ - número de rodillos de apoyo de la rama cargada. Toma valores 2 y 3.

En los tramos rectos entre los puntos característicos, la resistencia a la marcha la calculamos según:

a) Para la rama cargada:

1- Para transportadores inclinados.

$$Wc = \{[(q_b + q_c) \cos \beta + q_r'] \omega' L \pm (q_c + q_b) L \cdot \text{sen} \beta\}, \text{ en N} \quad 2.30$$

Donde:

$\beta$  - ángulo de inclinación del tramo en cuestión, (grados).

L – longitud del tramo, (m).

$\omega'$  - coeficiente de resistencia al movimiento en la rama cargada

2- Para transportadores rectos.

$$Wc = (q_b + q_c + q_r) \omega' \cdot l, \text{ en N} \quad 2.31$$

b) Para la rama vacía:

- Para transportadores inclinados.

$$Wb = \{[q_b \cos \beta + q_r''] \omega'' L \pm (q_b) L \cdot \text{sen} \beta\}, \text{ en N} \quad 2.32$$

Donde:

$\omega''$  - coeficiente de resistencia a la marcha de los rodillos en la rama vacía.

Podemos considerar

$$\omega' = \omega'' = \omega.$$

$\omega = 0,02 - 0,03$  para bandas estacionarias.

$\omega = 0,04 - 0,05$  para bandas no estacionarias.

- Para transportadores rectos.

$$Wb = (q_b + q_r') \omega' \cdot l, \text{ en N} \quad 2.33$$

El signo (+) se utiliza cuando el movimiento es ascendente y el signo (-) cuando el movimiento es descendente.

c) Resistencia en los dispositivos de limpieza ( $W_L$ ).

$$W_L = q_1 \cdot B, \text{ en N} \quad 2.34$$

Donde:

$q_1$  - resistencia específica del dispositivo de limpieza, (N/m). Para raspadores y arados de limpieza  $q_1$  toma valores entre 30 y 50. En este caso se tomó 50 N/m.

d) Resistencia en el dispositivo de carga ( $W_{dc}$ ).

$$W_{dc} = C \cdot \frac{q \cdot V^2}{g}, \text{ en N} \quad 2.35$$

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, (m/s).

Tensiones de la banda.

$$[S_{n+1} = S_n + \sum W], \text{ en N} \quad 2.36$$

Podemos de 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 este método.

### 2.6.3. Comprobación de la resistencia de la banda seleccionada

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

$$i = \frac{S_{\max} \cdot m}{\sigma_r \cdot B} \quad 2.37$$

Donde:

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

$S_{\max}$  - tensión máxima a la que está sometida la banda, (N).

*m*- coeficiente de seguridad que toma valores de  $m= 9-10$  para transportadores horizontales y  $m= 11-12$  para transportadores inclinados.

$\sigma_r$ - límite de resistencia a la rotura de 1 cm de ancho en una capa en N/m.

*B*- ancho de la banda, (m).

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.

Estás bandas se seleccionan de acuerdo a su resistencia a la destrucción (rotura).

$$\sigma_r = \frac{S_{\max} \cdot K_{\text{real}}}{B} \quad 2.38$$

Donde:

$K_{\text{real}}$  - coeficiente real de reserva.

El coeficiente real de reserva se determina:

$$K_{\text{real}} = \frac{\sigma_r \cdot B}{S_{\max}} \quad 2.39$$

Este coeficiente de reserva debe tomar valor entre el siguiente rango:

$$K_{\text{real}} \geq 6 - 9$$

El menor valor para los transportadores horizontales y el mayor para los inclinados. Por este coeficiente sabemos si la banda sirve, sino sirve seleccionamos otra banda.

Determinación de la flecha entre rodillos.

La flexión máxima ( $F_{m\acute{a}x}$ ) entre los rodillos de la rama cargada se determina por la siguiente fórmula:

$$F_{m\acute{a}x} = \frac{(q_c + q_b) \cdot l_r^2}{8 \cdot S_{min} tr} \quad 2.40$$

Donde:

$S_{min} tr$ - tensión mínima a la que está sometida la banda en la rama de trabajo, esta se calcula por la ecuación 2.41:

$$S_{min} tr = (10 - 5)(q_c + q_b) \cdot g \cdot l_r, \text{ en N} \quad 2.41$$

Por las reglas de explotación se ha tenido que:

$$F_{m\acute{a}x} = (0,0125 - 0,025) l^* \quad 2.42$$

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

Donde:

$Si$ - tensión mínima en la rama de trabajo, (N).

Correspondiendo los menores valores para la banda de goma.

Potencia del motor.

$$N = \frac{W_o \cdot v}{1000 \cdot \eta} \cdot K_r, \text{ en kW} \quad 2.43$$

Donde:

$\eta = 0,90$  - coeficiente de rendimiento de la transmisión (0,85-0,90) %.

$K_r = 1,2$  - coeficiente de reserva que considera los regimenes de arranque y otros, puede variar entre 1,1-1,25.

$W_o$  - esfuerzo de tracción en el tambor motriz, (N).

Este último elemento ( $W_o$ ) se determina a través de una ecuación que a continuación relacionamos:

$$W_o = (S_e - S_s) + (0,05 - 0,06) * (S_e + S_s), \text{ en N} \quad 2.44$$

Donde:

$S_e$  - tensiones de entrada, (N).

$S_s$  - tensiones de salida, (N).

## **2.7. Conclusiones del capítulo II**

De los resultados obtenidos en el presente capítulo podemos concluir:

- 1- Se estableció las metodologías de cálculo para los diferentes equipos que componen la planta de pulpa de la Empresa Pedro Sotro Alba.
- 2- Se caracterizó la materia prima inicial y final de la línea de rechazo de la planta de pulpa.
- 3- Se comprobó que existen en la actualidad métodos de cálculos y experimentales necesario para realizar un estudio posterior de la temática de mayor envergadura.

## Capítulo III- Análisis de los Resultados, Valoración Económica y Medio ambiental

### 3.1. Introducción

En éste capítulo se realiza un análisis de los resultados obtenidos mediante la metodología de cálculo propuesta en el capítulo II. También se realiza una evaluación medio ambiental y económica en la que incurre esta planta de preparación de pulpa durante su funcionamiento.

**El objetivo de este capítulo** es realizar un análisis de los resultados de forma crítica para validar los métodos y procedimientos utilizados para dar cumplimiento a los objetivos del trabajo.

### 3.2. Situación actual de la producción en la planta de preparación de pulpa

La planta de preparación de pulpa de la Empresa Comandante Pedro Sotto Alba está diseñada para una capacidad de 950 toneladas horas, esto generaría una producción de rechazo de 200-240 toneladas horas, en la actualidad debido a los altos precios del níquel se han propuesto los directivos altas metas de producción. Sometiendo a esta planta a una capacidad no menor de 1030 toneladas horas, esto ha generado una producción mayor de rechazo, agudizando esto la no existencia de una ley de mineral alta en los frentes de explotación.

La no existencia de una tecnología para recuperar la limonita que se encuentra en el rechazo de la producción que se votaba de los años 90, hizo que se acumulara un mineral grueso con una ley alta, que en los últimos 4 años se ha puesto en explotación. Esto ha traído consigo un Incremento que ha duplicado el volumen inicial de rechazo por diseño, este valor hoy en día asciende ha 470 toneladas horas.

Para dar cumplimiento a los objetivos y las tareas propuestas en el trabajo se analiza y se calculan los equipos instalados en la línea de rechazo, no para la productividad de diseño, ya que existen un grupo de equipos que han sido modificados sin una justificación técnica. Por lo que se comprobará para los volúmenes de producción actuales que están provocando paros y averías en la línea de rechazo, con el propósito de mejorar la eficiencia de la planta.

### 3.3. Resultados de los cálculos de los principales parámetros de la criba

En el capítulo 1 aparecen los principales parámetros de la criba existente en la línea de rechazo de la planta de pulpa. Los principales parámetros tecnológicos de la criba han sido calculados utilizando una hoja de cálculo de excel, teniendo en cuenta los criterios expuestos en el capítulo II a través de las diferentes ecuaciones, ver tabla 3.1.

Tabla 3.1. Determinación de los principales parámetros de la criba.

Parámetros	Datos		Resultado	Ecuación
Área de cribado ( $A_{cr}$ ) $m^2$	A=2m	L= 5 m	8,5	Ec 2.1
Sección activa de la rejilla (L) %	l(m)=0.01	a(m)= 0.002	32,82828	Ec 2.2
		b(m)=0.0013		
Diámetro grano que pasa libremente agujeros (d) m	$\alpha$ -(°)	h-(m)	0,772119	Ec 2.3
		0.006		
Velocidad de los granos (V) por la superficie m/s	l(m)	g- $m/s^2$	0,103173	Ec 2.4
	0.0013	9,81		
Amplitud (a) mm		l =0.005 m	4,182	Ec 2.5
Frecuencia de oscilaciones de la caja (n) rpm		r -(m)	60,7952	Ec 2.6
		0,19		
Rendimiento másico (Q) t/h	K=0,3	$\gamma =122 \text{ tf}/m^3$	299,414	Ec 2.7
Coeficiente de cribado $K_v$			1.8	Ec 2. 8
Eficiencia de cribado (E) %	Q=470 t	C=145 t	57,1316	Ec 2.9
Potencia sumaria consumida ( $N_m$ ) kW	G= 3500 kg	$\eta=0.9$	25,7419	Ec 2.10
	e=0,25 m	r=0,19		

En la tabla anterior las casillas que aparecen en blanco, es que los datos para su cálculo se repiten, es decir, ya se han utilizado para calcular otros parámetros en dependencia de las ecuaciones planteadas en el capítulo II.

Podemos concluir de estos cálculos que se realizará un cribado fácil ya que el coeficiente de cribado es igual 1,8 encontrándose entre los rangos de 1,5 – 2. Esta criba presenta limitaciones debido a que por cálculo nos da que puede procesar 299,4 t/h y los volúmenes de producción de la planta de pulpa en estos momentos van en crecimiento y a veces han tenido que procesar volúmenes de 470 t/h, 170 t/h por encima de su productividad, según los datos técnicos de la misma expuesto en el capítulo I.

Este valor de productividad puede aumentar o disminuir en dependencia de la alimentación del mineral, de las frecuencias de las oscilaciones, del tipo y cantidad de muelle que se utilicen. Si se desea que el cribado sea eficiente es

necesario garantizar que la caja oscile con una frecuencia superior a las 60,79 rpm, a estas revoluciones es que las partículas saltan y se trasladan, por debajo de estas revoluciones solo las partículas se trasladan. La potencia sumaria consumida por la criba será de 25,74 KW.

Podemos plantear que si la empresa quiere procesar volúmenes de producción por encima de su capacidad de diseño es necesario un redimensionamiento de algunos de los equipamientos tecnológicos de la planta, pues el incremento de producción traería paradas imprevistas como están ocurriendo en estos momentos.

### 3.4. Resultados de los cálculos de los parámetros del cilindro lavador

A continuación mostramos los resultados obtenidos por la metodología de calculo expuesta en el capítulo II de la criba de tambor o cilindro lavador.

Tabla 3.2. Parámetros de la criba de tambor o cilindro lavador.

INDICADOR	Denominación	U/M	Valor	Ecuación
Angulo de inclinación	$\alpha$	Grados	0,99	Ec 2.12
Peso específico del mineral a granel	$\gamma$	T/m <sup>3</sup>	1,3	
Coefficiente de porosidad	$\psi$		0,70	
Velocidad de rotación del cilindro	n	R.P.M	22	
Velocidad de rotación crítica del cilindro	$n_{crit}$	R.P.M	47	Ec 2.15
Longitud del Cilindro	L	m	5,800	
Altura del eje al nivel de material	r	m	0,450	
Radio medio del cilindro	R	m	0,4	Ec 2.13
Diámetro de entrada	$D_e$	m	0,700	
Diámetro medio	$D_m$	m	0,800	Ec 2.11
Diámetro de salida	$D_s$	m	0,900	
Coefficiente de llenado	$\phi$		0,12	Ec 2.14
Velocidad de desplazamiento del material en el cilindro	W	m/s	0,016	Ec 2.16
Productividad	Q	T/h	102,10	Ec 2.17
Tiempo de permanencia	t1	seg	365	Ec 2.18
Coefficiente de fricción	f		1,2	
Peso del material dentro del tambor	Go	Kg	1422	Ec 2.19
Momento de resistencia	M	kg-m	5461	Ec 2.20
Potencia necesaria del motor	N	kW	192,42	Ec 2.21

Según la tabla 3.2 la productividad da 102,1 t/h, el cilindro lavador fue diseñado para una productividad máxima de 100 t/h según las características expuesta en el capítulo I y extraídos del manual de explotación de la planta de pulpa, pero en estos momentos los volúmenes de producción son superiores y el

producto de desecho es mayor, no solo por los volúmenes de producción si no también por el tipo de material que en estos momento se está procesando.

Esto nos indica que la efectividad del cilindro lavador será menor en cuanto a extracción de la limonita del mineral, ya que dentro de el hay mayor cantidad de mineral de lo que el es capaz de procesar, por lo que el tiempo de permanencia del mineral dentro del cilindro es menor.

### **3.5. Resultado de los cálculos de los transportadores de banda**

Los transportadores juegan un papel fundamental en esta planta de pulpa, en la línea de rechazo existen cinco que son los encargados de suministrar el desecho de la planta hasta un depósito a unos 500 metros, cuando este depósito se llena entonces son trasladados con medios de transporte hasta una presa de rechazo seleccionada.

Para realizar los cálculos de comprobación de los parámetros técnicos de los transportadores partimos de que conocemos el ancho de banda y la velocidad, además de la producción anual, la producción horaria y el tiempo de trabajo al año. Los principales parámetros tecnológicos de los transportadores han sido calculados utilizando una hoja de cálculo de excel, teniendo en cuenta los criterios expuestos en el capítulo II a través de las diferentes ecuaciones.

#### **3.5.1 Resultado de los cálculos del transportador de banda C0-2**

La planta de pulpa consta de cinco transportadores que solo varían en el ancho de banda, para la selección de las bandas y los pesos de los rodillos se utilizó los Catálogos de bandas transportadoras de la Firestone Hispania 1999 y 2000, todos los transportadores de banda de la línea de rechazo de la planta de pulpa utilizan la banda de la INDY del fabricante Firestone Hispania del tipo EP750-500/4-6+3M, solo el transportador C0-5 utiliza la banda 650-4EP250/80-3015. Todos los rodillos son iguales para cuatro transportadores, menos para el C0-5, en la rama cargada se utilizan tres rodillos con una artesa de 20° y el diámetro de los mismos es 127 mm.

Según el manual de operaciones de la planta, las bandas de los transportadores se moverán a 2 m/s y el ancho de banda del transportador C0-2 es de 750 mm, los demás datos se encuentran en el Capítulo I. El recálculo del ancho de Banda nos da que  $B = 663,26$  mm y teniendo en cuenta los criterios del tipo de material a transportar, el ancho de banda que se necesita debe estar

por encima de 232,67 mm, como vemos satisface la segunda condición y el transportador se estandarizó a 750 mm el ancho de banda por lo que se encuentra bien calculado. Para satisfacer la productividad de 470 toneladas por hora, con este ancho de banda solo es necesario mover el transportador a una velocidad de 1,57 m/s.

Tabla 3.3. Peso lineal de los elementos del transportador C0-2.

Parámetros	Datos		Resultado	Ecuación
Peso lineal de la banda ( $qb$ )	$l=4$	$\gamma_b=1,1\text{kg/m}^2$	183,45 N/m	Ec 2.26
	$h_1=6\text{ mm}$	$h_2=3\text{ mm}$		
Peso lineal de la carga ( $qc$ ).	$Q=470\text{ t/h}$	$V=2\text{ m/s}$	640,84 N/m	Ec 2.27
Peso lineal de los rodillos de apoyos rama cargada ( $qr'$ )	$Gr'=23,5\text{kg}$	$l'=0,75\text{ m}$	922,14 N/m	Ec 2.28
Peso lineal de los rodillos de apoyos rama vacía ( $qr''$ )	$Gr''=17,5\text{kg}$	$l''=1,5$	68,67 N/m	Ec 2.29

Para realizar los cálculos de resistencia y tensiones del transportador es necesario realizar la traza del mismo, como la que se encuentra en la figura 3.1.

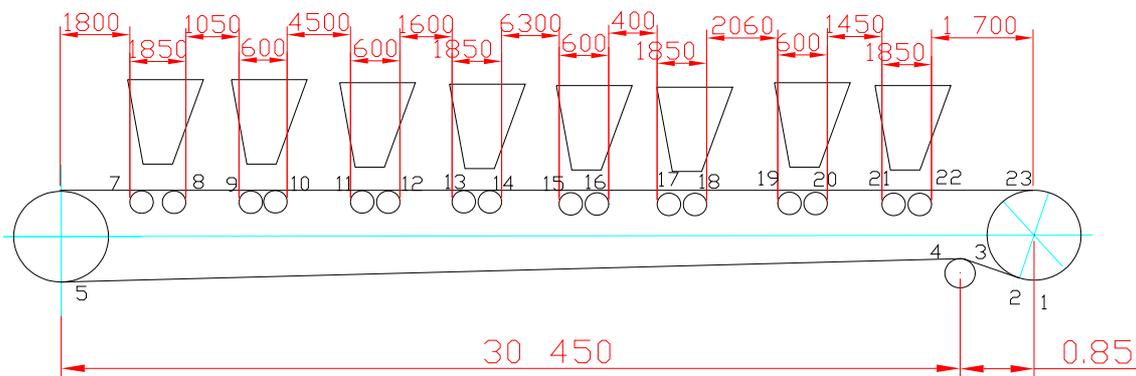


Figura 3.1. Trazo del transportador C0-2 de la línea de rechazo.

Los resultados de estos cálculos de las resistencias al movimiento de los diferentes elementos del transportador y las tensiones en la banda transportadora lo podemos ver en la tabla 3.4 y 3.5 para los diferentes tramos.

Tabla 3.4. Resistencia al movimiento de los elementos del transportador C0-2.

Parámetros	Datos		Resultado	Ecuación
Resistencia del dispositivo de limpieza $W_{1-2}$	$B=0,75\text{ m}$	$q_1=50\text{ N/m}$	37,5 N	Ec 2.34
Resistencia en el dispositivo de carga $W_{b_{5-6}}$		$C=1,4$	2926,569 N	Ec 2.35

Para la rama vacía				
Tramo 2-3 $W_{b_{2-3}}$ (N)	$w'=0,03$	$L_{2-3}=0,88$ m	51,81 N	Ec 2.31
Tramo 4-5 $W_{b_{4-5}}$ (N)	$\beta = 0^0$	$L_{4-5}=30,45$ m	210,81 N	Ec 2.31
Tramo 6-7 $W_{b_{6-7}}$ (N)		$L_{6-7}=1,8$ m	59,706 N	Ec 2.31
Para la rama cargada				
Tramo 8-9 $W_{b_{8-9}}$ (N)	$w'=0,03$	$L_{8-9}=1,5$ m	78,589 N	Ec 2.33
Tramo 10-11 $W_{b_{10-11}}$ (N)	$\beta = 0^0$	$L_{10-11}=4,15$ m	217,430 N	Ec 2.33
Tramo 12-13 $W_{b_{12-13}}$ (N)		$L_{12-13}(m)=1,6$	83,828 N	Ec 2.33
Tramo 14-15 $W_{b_{14-15}}$ (N)		$L_{14-15}(m)=6,3$	330,075 N	Ec 2.33
Tramo 16-17 $W_{b_{16-17}}$ (N)		$L_{16-17}(m)=0,4$	20,957 N	Ec 2.33
Tramo 18-19 $W_{b_{18-19}}$ (N)		$L_{18-19}(m)=2,6$	136,221 N	Ec 2.33
Tramo 20-21 $W_{b_{20-21}}$ (N)		$L_{20-21}(m)=1,45$	75,969 N	Ec 2.33
Tramo 22-23 $W_{b_{22-23}}$ (N)		$L_{22-23}(m)=1,7$	89,067 N	Ec 2.33

Tabla 3.5. Tensiones de la banda del transportador C0-2.

Parámetros	Resultado	Ecuación
$S_1=S_s=?$	4908,905	Ec 2.36
$S_2=S_1+W_{1-2}$	3785,395	Ec 2.36
$S_3=S_2+W_{2-3}$	3837,208	Ec 2.36
$S_4=kc*(S_3)$	3990,697	Ec 2.36
$S_5=S_4+W_{4-5}$	4201,506	Ec 2.36
$S_6=kct*S_5$	4369,566	Ec 2.36
$S_7=S_6* W_{6-7}$	4429,268	Ec 2.36
$S_8=S_7+W_{7-8}$	7355,837	Ec 2.36
$S_9=S_8+W_{8-9}$	7434,426	Ec 2.36
$S_{10}=S_9+W_{10-11}$	4908,905	Ec 2.36
$S_{11}=S_{10}+W_{12-13}$	7735,685	Ec 2.36
$S_{12}=S_{11}+W_{14-15}$	8065,760	Ec 2.36
$S_{13}=S_{12}+W_{16-17}$	8086,717	Ec 2.36
$S_{14}=S_{13}+W_{18-19}$	8222,938	Ec 2.36
$S_{15}=S_{13}+W_{20-21}$	8298,908	Ec 2.36
$S_{16}=S_{13}+W_{22-23}$	8387,975	Ec 2.36

Ahora debemos comprobar si la banda resistirá estos esfuerzos, por lo que se calcula el número de capas, así como el coeficiente de reserva, estos valores junto con otros los llevaremos a la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Parámetros de comprobación de la banda y potencia.

Parámetros	Datos		Resultados	Ecuación
Número de capas (i)	m= 9-10	$\sigma_r(\text{kg/cm})=1000$	1,177	Ec 2.37
Coefficiente real de reserva (k)			10,196	Ec 2.39
Flecha entre rodillos (F) m		$S_{\text{minTr}}(\text{N})=3091,077$	0,01875	Ec 2.40
Potencia del motor (N) kW	$\eta= 0,9$	$w_o(\text{N})= 5368,23$	15,789	Ec 2.43

De los resultados obtenidos en las diferentes tablas podemos decir que la banda transportadora cumple con las condiciones de resistencia, por lo que resistirá las tensiones a la que está sometida, ya que se cumple que el valor del coeficiente real de reserva que es de 10,196, este valor debe estar entre 6 - 9 y el valor es mayor del que debería dar. Para mover la carga se necesita un motor de 15,789 se aproxima a 16 kW, el motor instalado en el transportador es de 22 kW por lo que se encuentra sobredimensionado.

### 3.5.2. Resultado de los cálculos del transportador de banda C0-5

Este transportador se encuentra en la línea de rechazo y es el que evacua la roca ya limpia que salen del cilindro lavador y clasificadas en la criba SN-06, es el encargado de transportar el mineral rocoso sin utilidad hasta los transportadores C0-13 y C0-14, usa rodillos de 135 mm de diámetro y su ancho de banda es de 650 mm.

El recálculo del ancho de Banda nos da igual 445, 62 mm y teniendo en cuenta los criterios del tipo de material a transportar, el ancho de banda que se necesita debe estar por encima de 232,67 mm y se estandarizó a 650 mm. Por lo que el ancho de banda se encuentra sobredimensionado, ya que se podría estandarizar a 500 mm según tabla 3 de los anexos. Para satisfacer la productividad de 170 toneladas por hora, con este ancho de banda solo es necesario mover el transportador a una velocidad de 0,778 m/s.

Para realizar los cálculos de resistencia y tensiones del transportador es necesario realizar la traza del transportador, como la que se encuentra en la figura 3.2.

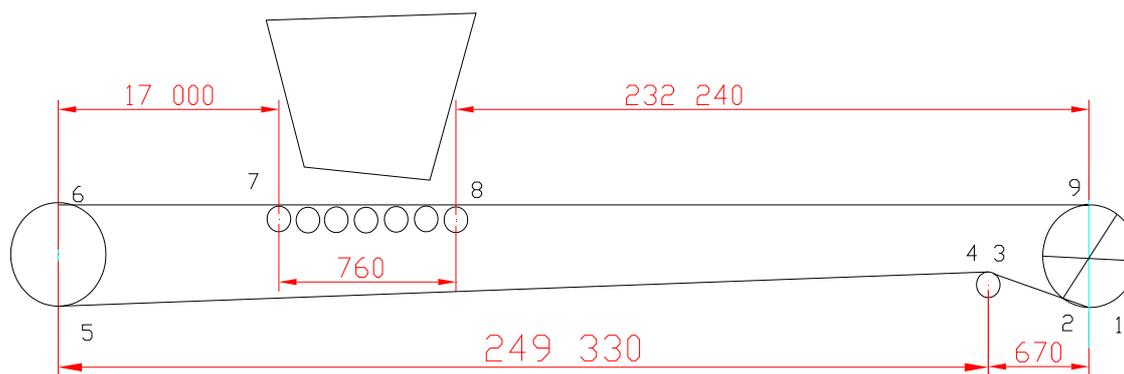


Figura 3.2. Trazo del transportador C0-5 de la línea de rechazo.

Teniendo en cuenta la figura 3.2 se calculan las resistencias al movimiento de los diferentes elementos del transportador y las tensiones en la banda transportadora en los diferentes tramos. Los resultados de estos cálculos lo podemos ver en la tabla 3.7, 3.8 y 3.9.

Tabla 3.7. Peso lineal de los elementos del transportador C0-5.

Parámetros	Datos		Resultado	Ecuación
Peso lineal de la banda ( $qb$ )	$l=4$	$\gamma_b=1,1\text{kg/m}^2$	183,447	Ec 2.26
	$h_1=6\text{ mm}$	$h_2=3\text{ mm}$	N/m	
Peso lineal de la carga ( $qc$ ).	$Q=170\text{ t/h}$	$V=2\text{ m/s}$	233,214 N/m	Ec 2.27
Peso lineal de los rodillos de apoyos rama cargada ( $qr'$ )	$Gr'=24,5\text{kg}$	$l'=1,1\text{ m}$	655,486 N/m	Ec 2.28
Peso lineal de los rodillos de apoyos rama vacía ( $qr''$ )	$Gr''=19,5\text{kg}$	$l''=2,9$	65,964 N/m	Ec 2.29

Tabla 3.8. Resistencia al movimiento de los elementos del transportador C0-5.

Parámetros	Datos		Resultado	Ecuación
Resistencia del dispositivo de limpieza $W_{1-2}$	$B=0,65\text{m}$	$q_1=50\text{ N/m}$	32,5 N	Ec 2.34
Resistencia en el dispositivo de carga $W_{b_{7-8}}$		$C=1,4$	123,62 N	Ec 2.35
Para la rama vacía				
Tramo 2-3 $W_{b_{2-3}}$ (N)	$w'=0,03$	$L_{2-3}=0,67\text{ m}$	40,787 N	Ec 2.31
Tramo 4-5 $W_{b_{4-5}}$ (N)	$\beta=0^0$	$L_{4-5}=249,33\text{ m}$	1857,58 N	Ec 2.31
Tramo 6-7 $W_{b_{6-7}}$ (N)		$L_{6-7}=17\text{ m}$	127, 2 N	Ec 2.31
Para la rama cargada				
Tramo 8-9 $W_{b_{8-9}}$ (N)	$\beta=0^0$	$L_{8-9}=232,24\text{m}$	232,24 N	Ec 2.33

Tabla 3.9. Tensiones de la banda del transportador C0-5.

Parámetros	Resultado	Ecuación
$S_1=S_s=?$	4982,551	Ec 2.36
$S_2=S_1+W_1-2$	5015,051	Ec 2.36
$S_3=S_2+W_2-3$	5055,838	Ec 2.36
$S_4=k_c*(S_3)$	5156,955	Ec 2.36
$S_5=S_4+W_4-5$	7014,539	Ec 2.36
$S_6=k_{ct}*S_5$	7224,976	Ec 2.36
$S_7=S_6+W_6-7$	7352,175	Ec 2.36
$S_8=S_7+W_7-8$	7475,795	Ec 2.36
$S_9=S_8+W_8-9$	14945,659	Ec 2.36

Ahora debemos comprobar si la banda resistirá estos esfuerzos, por lo que se calcula el número de capas, así como el coeficiente de reserva, estos valores junto con otros los llevaremos a la tabla 3.10.

Tabla 3.10. Parámetros de comprobación de la banda y potencia.

Parámetros	Datos		Resultados	Ecuación
Número de capas (i)	m= 9-10		2.069	Ec 2.37
Continuación....				
Coficiente real de reserva (k)		$\sigma_r = 1000\text{kg/cm}$	6.34	Ec 2.39
Flecha entre rodillos (F) m		$S_{\min Tr} = 4583,3 \text{ N}$	0,01375	Ec 2.40
Potencia del motor (N) kW	$\eta = 0,9$	$w_o (N) = 10959,52$	26,289	Ec 2.43

De los resultados obtenidos en las diferentes tablas podemos decir que la banda transportadora cumple con las condiciones de resistencia, por lo que resistirá las tensiones a la que está sometida, ya que se cumple que el valor del coeficiente de reserva es de 6,34 y este valor se encuentra entre 6 y 9, más cerca del 6 porque es un transportador horizontal.

Para mover la carga se necesita un motor de 26,289 kW y el motor instalado en el transportador es de 18,5 kW por lo que se encuentra por debajo del valor nominal para mover esta carga. Por eso es que este transportador se para cuando el volumen de producción llega a 170 toneladas por hora de material de rechazo.

### 3.5.3. Resultado de los cálculos del transportador de banda C0-11

Este transportador es el que transporta el producto que se clasifica y se lava en el proceso de la planta, constituyendo el rechazo que luego es tratado en la línea de rechazo, el cual se desmenuza y se clasifica en los equipos Sn-06 y cilindro lavador, este transportador usa rodillos de 127 mm y a diferencia de los demás posee un sistema de tensado por contrapeso, colgado a una tambora tensora con una carga de 1,02 toneladas, que garantiza la tensión de la banda. El ancho de banda de este transportador es de 750 mm y su productividad por diseño es de 350 toneladas. Se calculará para la productividad actual de trabajo que es de 470 toneladas.

El recálculo del ancho de Banda es igual 663,168 mm y teniendo en cuenta los criterios del tipo de material a transportar el ancho de banda que se necesita debe estar por encima de 232,67 mm, y se estandarizó a 750 mm por lo que el ancho de banda se encuentra bien calculado. Para satisfacer la productividad de 470 toneladas por hora, con este ancho de banda solo es necesario mover el transportador a una velocidad de 1,567 m/s.

Para realizar los cálculos de resistencia a la marcha y tensiones del transportador es necesario realizar la traza del mismo, como la que se encuentra en la figura 3.3.

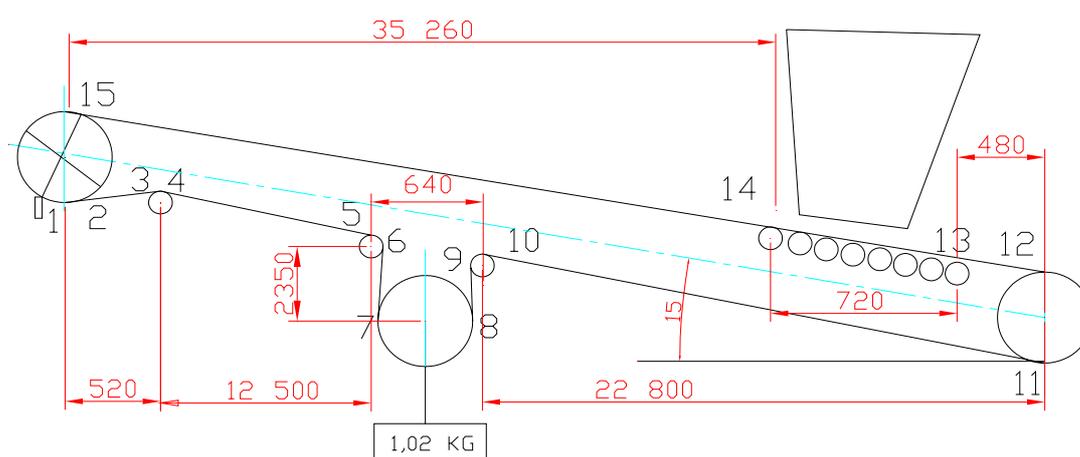


Figura 3.3. Trazo del transportador C0-11 de la línea de rechazo.

Teniendo en cuenta la figura 3.3 se calculan las resistencias al movimiento de los diferentes elementos del transportador y las tensiones en la banda transportadora en los diferentes tramos. Los resultados de estos cálculos lo podemos ver en la tabla 3.11, 3.12 y 3.13.

Tabla 3.11. Peso lineal de los elementos del transportador C0-11.

Parámetros	Datos		Resultado	Ecuación
Peso lineal de la banda ( $qb$ )	$l=4$	$\gamma_b=1,1\text{kg/m}^2$	183,45 N/m	Ec 2.26
	$h_1=6\text{ mm}$	$h_2=3\text{ mm}$		
Peso lineal de la carga ( $qc$ ).	$Q=470\text{ t/h}$	$V=2\text{ m/s}$	640,64 N/m	Ec 2.27
Peso lineal de los rodillos de apoyos rama cargada ( $qr'$ )	$Gr'=23,5\text{kg}$	$l'=0,75\text{ m}$	749,764N/m	Ec 2.28
Peso lineal de los rodillos de apoyos rama vacía ( $qr''$ )	$Gr''=17,5\text{kg}$	$l''=1,5$	65,81 N/m	Ec 2.29

Tabla 3.12. Resistencia al movimiento de los elementos del transportador C0-11

Parámetros	Datos		Resultado	Ecuación
Resistencia del dispositivo de limpieza $W_{1-2}$	$B=0,75\text{m}$	$q_1=50\text{ N/m}$	37,5 N	Ec 2.45
Resistencia en el dispositivo de carga $W_{b_{10-11}}$		$C=1,4$	365,71 N	Ec 2.46
Para la rama vacía				
Tramo 2-3 $W_{b_{2-3}}$ (N)	$w''=0,03$	$L_{2-3}=0,52\text{ m}$	-12,72 N	Ec 2.30
Tramo 4-5 $W_{b_{4-5}}$ (N)	$\beta=17^0$	$L_{4-5}=12,5\text{ m}$	-305,765 N	Ec 2.30
Tramo 6-7 $W_{b_{6-7}}$ (N)	$\beta=10^0$	$L_{6-7}=2,35\text{ m}$	-57,484 N	Ec 2.30
Tramo 8-9 $W_{b_{8-9}}$ (N)		$L_{8-9}=2,35\text{ m}$	-57,484 N	Ec 2.30
Tramo 10-11 $W_{b_{10-11}}$ (N)		$L_{10-11}=22,8\text{ m}$	-557,71 N	Ec 2.30
Tramo 12-13 $W_{b_{12-13}}$ (N)		$L_{12-13}=0,48\text{ m}$	-1,892 N	Ec 2.30
Para la rama cargada				
Tramo 14-15 $W_{b_{6-7}}$ (N)	$\beta=15^0$	$L_{6-7}=35,26\text{ m}$	6697,35 N	Ec 2.32

Tabla 3.13. Tensiones de la banda del transportador C0-11.

Parámetros	Resultado	Ecuación
$S_1=S_s=?$	3319,0075	Ec 2.36
$S_2=S_1+W_{1-2}$	3356,50749	Ec 2.36
$S_3=S_2+W_{2-3}$	3343,78768	Ec 2.36
$S_4=kc*(S_3)$	3444,10131	Ec 2.36
$S_5=S_4+W_{4-5}$	3138,33664	Ec 2.36
$S_6=kc*S_5$	3232,48674	Ec 2.36
$S_7=S_6+W_{6-7}$	3175,00298	Ec 2.36
$S_8=kc*S_7$	3302,0031	Ec 2.36

Continuación...		
$S9=S8+W8-9$	3244,51934	Ec 2.36
$S10=Kc*S9$	3341,85492	Ec 2.36
$S11=S10+W10-11$	2784,14015	Ec 2.36
$S12=kct*S11$	2895,50576	Ec 2.36
$S13=S12+ W12-13$	2893,61336	Ec 2.36
$S14=S13+W13-14$	3259,32195	Ec 2.36
$S15=S14+W14-15$	9956,66908	Ec 2.36

Ahora debemos comprobar si la banda resistirá estos esfuerzos, por lo que se calcula el número de capas, así como el coeficiente de reserva, estos valores junto con otros los llevaremos a la tabla 3.14.

Tabla 3.14. Parámetros de comprobación de la banda y potencia.

Parámetros	Datos		Resultados	Ecuación
Número de capas (i)	m= 11-12	$\sigma_r(\text{kg/cm})=1000$	0,528	Ec 2.37
Coeficiente real de reserva (k)			22,7	Ec 2.39
Flecha entre rodillos (F) m		$S_{\text{minTr}}(\text{N})=3461,2$	0,021	Ec 2.40
Potencia del motor (N) kW	$\eta= 0,9$	$w_o(\text{N})=7434,20$	20,99	Ec 2.43

De los resultados obtenidos en las diferentes tablas podemos decir que la banda transportadora cumple con las condiciones de resistencia, por lo que resistirá las tensiones a la que está sometida, ya que se cumple que el valor del coeficiente de reserva es de 22,7 es superior a 9. Para mover la carga se necesita un motor de 20,99 kW y el motor instalado en el transportador es de 22 kW, por lo que se encuentra bien calculado.

#### 3.5.4. Resultado de los cálculos del transportador de banda C0-12

Este transportador es el más pequeño solo mide 4.8 metros, se encuentra a la salida de la criba Sn-06 y es el encargado de evacuar el producto que sale de esta y conducirlo al transportador C0-5, usa los mismos rodillos y ancho de banda del C0-11. La productividad por diseño es de 150 toneladas por horas.

El recálculo del ancho de banda es del 663,17 mm y teniendo en cuenta los criterios del tipo de material a transportar el ancho de banda que se necesita

debe estar por encima de 232,668 mm y se estandarizó a 750 mm, por lo que el ancho de banda se encuentra bien calculado. Para satisfacer la productividad de 170 toneladas por hora, con este ancho de banda solo es necesario mover el transportador a una velocidad de 1,567 m/s.

Tabla 3.15. Peso lineal de los elementos del transportador C0-12.

Parámetros	Datos		Resultado	Ecuación
Peso lineal de la banda ( $qb$ )	$l=4$	$\gamma_b=1,1\text{kg/m}^2$	192,08 N/m	Ec 2.26
	$h_1= 6 \text{ mm}$	$h_2=3 \text{ mm}$		
Peso lineal de la carga ( $qc$ ).	$Q= 170 \text{ t/h}$	$V=2 \text{ m/s}$	233,59 N/m	Ec 2.27
Peso lineal de los rodillos de apoyos rama cargada ( $qr'$ )	$Gr'=23,5\text{kg}$	$l'= 0.3 \text{ m}$	2305,35 N/m	Ec 2.28
Peso lineal de los rodillos de apoyos rama vacía ( $qr''$ )	$Gr''=17,5\text{kg}$	$l''= 1.35 \text{ m}$	127,17 N/m	Ec 2.29

Para realizar los cálculos de resistencia y tensiones del transportador es necesario realizar la traza del transportador, como la que se encuentra en la figura 3.4.

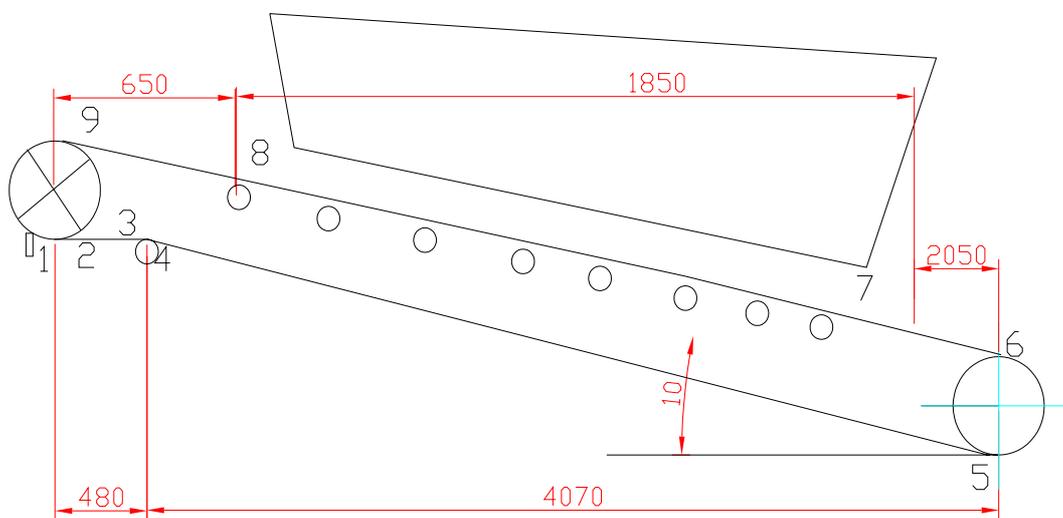


Figura 3.4. Trazo del transportador C0-12 de la línea de rechazo.

Teniendo en cuenta la figura 3.4 se calculan las resistencias al movimiento de los diferentes elementos del transportador y las tensiones en la banda transportadora en los diferentes tramos. Los resultados de estos cálculos lo podemos ver en la tabla 3.16 y 3.17.

Tabla 3.16. Resistencia al movimiento de los elementos del transportador C0-12

Parámetros	Datos		Resultado	Ecuación
Resistencia del dispositivo de limpieza $W_{1-2}$	$B=0,75\text{m}$	$q_1= 50 \text{ N/m}$	38 N	Ec 2.45
Resistencia en el dispositivo de carga $W_{b7-8}$		$C = 1,4$	133,343 N	Ec 2.46
Para la rama vacía				
Tramo 2-3 $W_{b2-3}$ (N)	$w''=0,03$	$L_{2-3}=0,48 \text{ m}$	-8,26 N	Ec 2.30
Tramo 4-5 $W_{b4-5}$ (N)	$\beta = 17^0$	$L_{4-5}=4,7 \text{ m}$	-112,63 N	Ec 2.30
Tramo 6-7 $W_{b6-7}$ (N)	$\beta = 10^0$	$L_{6-7}=2,05 \text{ m}$	106,72 N	Ec 2.30
Para la rama cargada				
Tramo 8-9 $W_{b8-9}$ (N)	$\beta = 15^0$	$L_{8-9}=0,65 \text{ m}$	101,17N	Ec 2.32

Tabla 3.17. Tensiones de la banda del transportador C0-12.

Parámetros	Resultado	Ecuación
$S_1=S_s=?$	173,833	Ec 2.36
$S_2=S_1+W_{1-2}$	211,333	Ec 2.36
$S_3=S_2+W_{2-3}$	188,853	Ec 2.36
$S_4=kc*(S_3)$	192,630	Ec 2.36
$S_5=S_4+W_{4-5}$	80,467	Ec 2.36
$S_6=kct*S_5$	82,881	Ec 2.36
$S_7=S_6+W_{6-7}$	189,603	Ec 2.36
$S_8=S_7+ W_{7-8}$	193,395	Ec 2.36
$S_9=S_8+W_{8-9}$	326,738	Ec 2.36

Ahora debemos comprobar si la banda resistirá estos esfuerzos, por lo que se calcula el número de capas, así como el coeficiente de reserva, estos valores junto con otros los llevaremos a la tabla 3.18.

Tabla 3.18. Parámetros de comprobación de la banda y potencia.

Parámetros	Datos		Resultados	Ecuación
Número de capas (i)	$m= 11-12$	$\sigma(\text{kg/cm})=1000$	0,062	Ec 2.48
Coeficiente real de reserva (k)			193,9	Ec 2.50
Flecha entre rodillos (F) m		$S_{\text{mínTr}}(\text{N})=638,58$	0,0075	Ec 2.51
Potencia del motor (N) kW	$\eta= 0,9$	$w_o(\text{N})=182,94$	0,54	Ec 2.54

De los resultados obtenidos en las diferentes tablas podemos decir que la banda transportadora cumple con las condiciones de resistencia, por lo que resistirá las tensiones a la que está sometida, ya que se cumple que el valor del coeficiente de reserva que es de 193,9 es superior a 9, es casi 20 veces de lo que se necesita. Para mover la carga se necesita un motor de 0,54 kW y el motor instalado en el transportador es de 13 kW, por lo que se encuentra sobredimensionado.

### 3.5.5. Resultado de los cálculos del transportador de banda C0-13

Este transportador de 10,82 metros, sigue la continuidad del material de rechazo proveniente del C0-5 tiene una productividad por diseño de 150 toneladas horas y se ha recalculado para una productividad actual de 170 toneladas horas.

El recálculo del ancho de Banda es igual 455,411 mm y teniendo en cuenta los criterios del tipo de material a transportar el ancho de banda que se necesita debe estar por encima de 232,668 mm, y se estandarizó a 750 mm por lo que el ancho de banda se encuentra sobredimensionado. Para satisfacer la productividad de 170 toneladas por hora, con este ancho de banda solo es necesario mover el transportador a una velocidad de 0,779 m/s.

Para realizar los cálculos de resistencia y tensiones del transportador es necesario realizar la traza del mismo, como la que se encuentra en la figura 3.4.

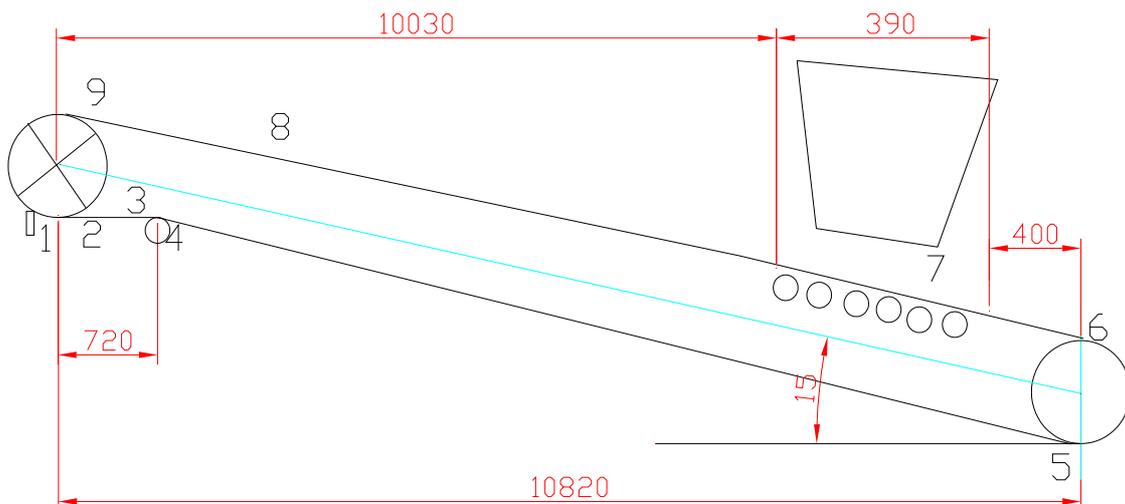


Figura 3.4. Trazo del transportador C0-13 de la línea de rechazo.

Teniendo en cuenta la figura 3.5 se calculan las resistencias al movimiento de los diferentes elementos del transportador y las tensiones en la banda

transportadora en los diferentes tramos. Los resultados de estos cálculos lo podemos ver en la tabla 3.19, 3.20 y 3.21.

Tabla 3.19. Peso lineal de los elementos del transportador C0-13.

Parámetros	Datos		Resultado	Ecuación
Peso lineal de la banda ( $qb$ )	$l=4$	$\gamma_b=1,1\text{kg/m}^2$	183,45 N/m	Ec 2.26
	$h_1=6\text{ mm}$	$h_2=3\text{ mm}$		
Peso lineal de la carga ( $qc$ ).	$Q=170\text{ t/h}$	$V=2\text{ m/s}$	640,64 N/m	Ec 2.27
Peso lineal de los rodillos de apoyos rama cargada ( $qr'$ )	$Gr'=23,5\text{kg}$	$l'=0,75\text{ m}$	1067,46N/m	Ec 2.28
Peso lineal de los rodillos de apoyos rama vacía ( $qr''$ )	$Gr''=17,5\text{kg}$	$l''=1,5$	87,745 N/m	Ec 2.29

Tabla 3.20. Resistencia al movimiento de los elementos del transportador C0-13

Parámetros	Datos		Resultado	Ecuación
Resistencia del dispositivo de limpieza $W_{1-2}$	$B=0,75\text{m}$	$q_1=50\text{ N/m}$	37,5 N	Ec 2.45
Resistencia en el dispositivo de carga $W_{b7-8}$		$C=1,4$	365,71 N	Ec 2.46
Para la rama vacía				
Tramo 2-3 $W_{b2-3}$ (N)	$w''=0,03$	$L_{2-3}=0,72\text{ m}$	-28,463 N	Ec 2.30
Tramo 4-5 $W_{b4-5}$ (N)	$\beta=17^\circ$	$L_{4-5}=10,1\text{ m}$	399,266 N	Ec 2.30
Tramo 6-7 $W_{b6-7}$ (N)	$\beta=15^\circ$	$L_{6-7}=0,4\text{ m}$	16,08 N	Ec 2.30
Para la rama cargada				
Tramo 8-9 $W_{b8-9}$ (N)	$\beta=15^\circ$	$L_{8-9}=10,03\text{ m}$	2780,02 N	Ec 2.32

Tabla 3.21. Tensiones de la banda del transportador C0-13.

Parámetros	Resultado	Ecuación
$S_1=S_s=?$	3308,106	Ec 2.36
$S_2=S_1+W_{1-2}$	3345,606	Ec 2.36
$S_3=S_2+W_{2-3}$	3317,143	Ec 2.36
$S_4=kc*(S_3)$	3416,658	Ec 2.36
$S_5=S_4+W_{4-5}$	3017,391	Ec 2.36
$S_6=kct*S_5$	3138,087	Ec 2.36
$S_7=S_6+W_{6-7}$	3154,173	Ec 2.36
$S_8=S_7+W_{7-8}$	3519,882	Ec 2.36
$S_9=S_8+W_{8-9}$	6219,901	Ec 2.36

Ahora debemos comprobar si la banda resistirá estos esfuerzos, por lo que se calcula el número de capas, así como el coeficiente de reserva, estos valores junto con otros los llevaremos a la tabla 3.22.

Tabla 3.22. Parámetros de comprobación de la banda y potencia.

Parámetros	Datos		Resultados	Ecuación
Número de capas (i)	m= 11-12	$\sigma_r(\text{kg/cm})=1000$	0,99	Ec 2.48
Coeficiente real de reserva (k)			12,06	Ec 2.50
Flecha entre rodillos (F) m		$S_{\text{minTr}}(\text{N})=2431,1$	0,0147	Ec 2.51
Potencia del motor (N) kW	$\eta= 0,9$	$w_o(\text{N})=3483,47$	10,24	Ec 2.54

De los resultados obtenidos en las diferentes tablas podemos decir que la banda transportadora cumple con las condiciones de resistencia, por lo que resistirá las tensiones a la que está sometida, ya que se cumple que el valor del coeficiente de reserva es de 12,6 es superior a 9. Para mover la carga se necesita un motor de 12,24 kW y el motor instalado en el transportador es de 13 kW, por lo que se encuentra bien calculado y seleccionado.

### 3.5.6. Resultado de los cálculos del transportador de banda C0-14

Este transportador es el último de este sistema de transporte continuo y su productividad por diseño es de 160 toneladas horas, también se tuvo en cuenta para el recálculo la productividad actual del mismo.

El recálculo del ancho de banda es igual 459,153 mm y teniendo en cuenta los criterios del tipo de material a transportar el ancho de banda que se necesita debe estar por encima de 232,668 mm, y se estandarizó a 750 mm por lo que el ancho de banda se encuentra bien calculado y instalado. Para satisfacer la productividad de 170 toneladas por hora, con este ancho de banda solo es necesario mover el transportador a una velocidad de 0,621 m/s.

Para realizar los cálculos de resistencia y tensiones del transportador es necesario realizar la traza del transportador, como la que se encuentra en la figura 3.4.

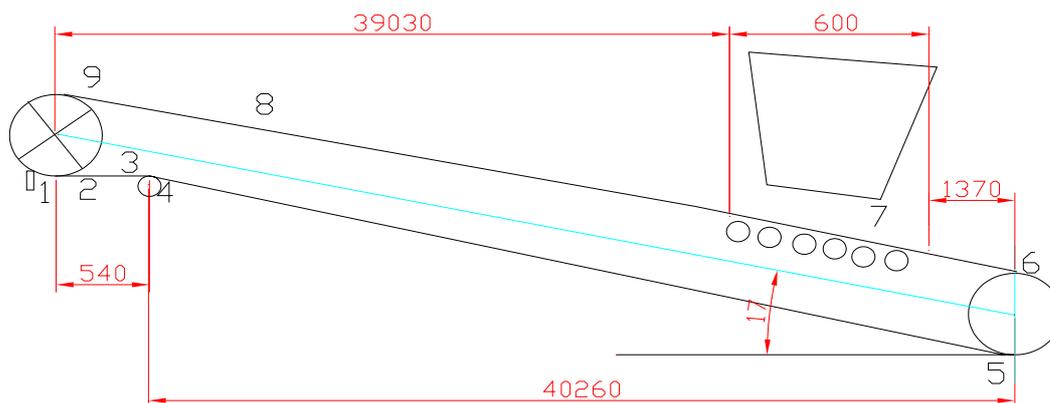


Figura 3.4. Traza del transportador C0-14 de la línea de rechazo.

Teniendo en cuenta la figura 3.4 se calculan las resistencias al movimiento de los diferentes elementos del transportador y las tensiones de la banda transportadora en los diferentes tramos. Los resultados de estos cálculos lo podemos ver en la tabla 3.23, 3.24 y 3.25.

Tabla 3.23. Peso lineal de los elementos del transportador C0-14.

Parámetros	Datos		Resultado	Ecuación
Peso lineal de la banda ( $qb$ )	$l=4$	$\gamma_b=1,1\text{kg/m}^2$	183,45 N/m	Ec 2.26
	$h_1=6\text{ mm}$	$h_2=3\text{ mm}$		
Peso lineal de la carga ( $qc$ ).	$Q=170\text{ t/h}$	$V=2\text{ m/s}$	233,59 N/m	Ec 2.27
Peso lineal de los rodillos de apoyos rama cargada ( $qr'$ )	$Gr'=23,5\text{kg}$	$l'=0,59\text{ m}$	1067,86N/m	Ec 2.28
Peso lineal de los rodillos de apoyos rama vacía ( $qr''$ )	$Gr''=17,5\text{kg}$	$l''=1,8$	87,745 N/m	Ec 2.29

Tabla 3.24. Resistencia al movimiento de los elementos del transportador C0-14

Parámetros	Datos		Resultado	Ecuación
Resistencia del dispositivo de limpieza $W_{1-2}$	$B=0,75\text{m}$	$q_1=50\text{ N/m}$	37,5 N	Ec 2.45
Resistencia en el dispositivo de carga $W_{b_{7-8}}$		$C=1,4$	133,34 N	Ec 2.46
Para la rama vacía				
Tramo 2-3 $W_{b_{2-3}}$ (N)	$w''=0,03$	$L_{2-3}=0,54\text{ m}$	2,595 N	Ec 2.30
Tramo 4-5 $W_{b_{4-5}}$ (N)	$\beta=17^\circ$	$L_{4-5}=40,26\text{ m}$	-184,47 N	Ec 2.30
Tramo 6-7 $W_{b_{6-7}}$ (N)		$L_{6-7}=1,37\text{ m}$	124,56 N	Ec 2.30
Para la rama cargada				
Tramo 8-9 $W_{b_{8-9}}$ (N)	$\beta=17^\circ$	$L_{8-9}=39,03\text{ m}$	6475,76 N	Ec 2.32

Tabla 3.25. Tensiones de la banda del transportador C0-14.

Parámetros	Resultado	Ecuación
$S1=Ss=?$	5017,016	Ec 2.36
$S2=S1+W1-2$	5054,516	Ec 2.36
$S3=S2+W2-3$	5057,111	Ec 2.36
$S4=kc*(S3)$	5208,824	Ec 2.36
$S5=S4+W4-5$	3367,355	Ec 2.36
$S6=kct*S5$	3502,049	Ec 2.36
$S7=S6+W6-7$	3626,612	Ec 2.36
$S8=S7+W7-8$	3759,955	Ec 2.36
$S9=S8+W8-9$	10235,72	Ec 2.36

Ahora debemos comprobar si la banda resistirá estos esfuerzos, se debe calcular el número de capas, así como el coeficiente de reserva, estos valores junto con otros los llevaremos a la tabla 3.26.

Tabla 3.26. Parámetros de comprobación de la banda y potencia.

Parámetros	Datos		Resultados	Ecuación
Número de capas (i)	m= 11-12	$\sigma(\text{kg/cm})=1000$	1,638	Ec 2.48
Coeficiente real de reserva (k)			7,32	Ec 2.50
Flecha entre rodillos (F) m		$S_{\text{mínTr}}(\text{N})=1230,3$	0,021	Ec 2.51
Potencia del motor (N) kW	$\eta= 0,9$	$w_o(\text{N})=5981,34$	17,59	Ec 2.54

De los resultados obtenidos en las diferentes tablas podemos decir que la banda transportadora cumple con las condiciones de resistencia, por lo que resistirá las tensiones a la que está sometida, ya que se cumple que el valor del coeficiente de reserva es de 7,32 está entre 6 y 9. Para mover la carga se necesita un motor de 17,59 kW y el motor instalado en el transportador es de 22 kW, por lo que se encuentra sobredimensionado.

### 3.6. Medidas propuestas para mejorar la eficiencia de la planta

De los resultados obtenidos anteriormente en este capítulo podemos sugerir algunas medidas para mejorar la eficiencia de la línea de rechazo de la planta de preparación de mineral de la Empresa Comandante Pedro Sotto Alba:

- ✓ Para alcanzar una productividad estable de 470 toneladas horas de procesamiento de la línea de rechazo, la criba Sn-06 debe de ser cambiada por una de mayor capacidad o dos en paralelo de capacidad cercana a la productividad a alcanzar por la planta que es de 470 t/h de forma estable, pues esta solo procesa 300 toneladas horas en un cribado húmedo.
- ✓ Por los cálculos obtenidos también es necesario mejorar el proceso de lavado, ya que el cilindro existente es insuficiente para el procesamiento de el volumen de producción que se quiere, debe montarse un cilindro lavador de mayor capacidad u otro paralelo al existente de la misma capacidad, para garantizar que el mineral tenga mayor tiempo de retención dentro del tambor y este realice su función de desmenuzar y lavar el mineral.
- ✓ Se debe aumentar la potencia del transportador C0-5 hasta 28 kW para poder garantizar la evacuación del mineral sin paradas o interrupciones de de la planta para los volúmenes de producción deseados.
- ✓ Los transportadores C0-2, C0-12 y C0-14 están sobredimensionados por lo que se puede bajar su potencia a la que necesitan por cálculo, con el objetivo de reducir el consumo eléctrico.

### 3.7. Impacto Medio Ambiental

En la actualidad toda labor de minería trae consigo la degradación del medio ambiente, es tarea de todas las empresas cubanas de disminuir este impacto tomando medidas necesarias para la reducción de los contaminantes del medio. Evitando el vertimiento de productos residuales y aguas contaminadas que puedan afectar el manto freático.

A continuación exponemos algunos de los factores que son amenazados por la explotación minera, contaminando el medio ambiente.

- 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).
- Flora (diversidad, especies endémicas, comunidades vegetales).
- Fauna (destrucción del hábitat).

- Medio perceptual (paisaje protegido y preservado, elementos paisajísticos, vista panorámica, denudación de superficies en taludes, cambios en las formas del relieve).

**El ruido** es un tipo de onda generada por los procesos o actividades propagándose en el medio ambiente y contaminándolo a una velocidad determinada y disminuyendo su intensidad con la distancia y el entorno físico. Es uno de los elementos que afecta las condiciones de trabajo en el ambiente laboral, incidiendo sobre la salud física y mental de los trabajadores, trayendo enfermedades profesionales, cuando no se cuenta con los medios de protección requeridos. Las enfermedades más comunes producidas por el ruido son el incremento de la presión sanguínea, la aceleración del ritmo cardíaco, la contracción de los capilares de la piel, la disminución de la capacidad de trabajo físico y mental. Cambios y pérdida de audición, la interferencia de la comunicación oral.

### **Afectaciones por la propagación del mineral fino**

El polvo penetra en el organismo principalmente por dos vías:

- 1) Inhalación de polvos en el aire a través de las vías respiratorias.
- 2) Absorción de polvo a través de la piel.

Las partículas que sean superiores a 5  $\mu\text{m}$  de diámetro quedan detenidas en los vellos de la cavidad nasal. Las partículas entre 0.5 y 5  $\mu\text{m}$  son capaces de penetrar hasta el sistema respiratorio inferior depositándose en los bronquios. En muchos casos es eliminado en pocas horas por espiración. Las partículas entre 0.01 a 0.1  $\mu\text{m}$  que penetra en los alvéolos se depositan allí, siendo difícil eliminarlas por carecer de cilios y mucosa, permaneciendo durante meses e incluso años degradando la salud de los hombres.

En la conducción de sus negocios Moa Nickel S.A se ha comprometido a asegurar la salud y la seguridad de las personas afectadas por la explotación y operación de la empresa, así como la protección del medio ambiente.

Esto consiste en definir, evaluar y controlar responsablemente los riesgos de seguridad, salud y medio ambiente en todas las actividades. Cumpliendo con los requerimientos legales donde se desarrollan normas más estrictas para la

compañía a la hora de diseñar, construir, operar y mantener sus instalaciones de forma rentable. Suministrándole a las personas que usan o manipulan productos tóxicos todos los medios de seguridad y la información concerniente al riesgo potencial y su uso más seguro.

La empresa toma medidas para no degradar el medio ambiente dentro de las cuales tenemos:

- ◆ Tratamiento y recirculación de las aguas utilizadas en el proceso de lavado del mineral para ser utilizadas nuevamente.
- ◆ El mineral de rechazo será transportado y almacenado en una presa de rechazo donde se ha realizado un estudio de permeabilidad de los suelos, través de un grupo de medios de transporte (camiones y cargadores).
- ◆ No existirá vertimiento de la pulpa o material fino conjuntamente con el agua de lavado hacia la presa Nuevo Mundo, provocando daños ecológicos en la zona y en las corrientes freáticas.
- ◆ Recuperación y no vertimiento de otras sustancias como aceites y grasas de lubricación.

### 3.8. Valoración Técnico Económica

Realicemos un análisis económico a partir de la demanda de electricidad por equipamiento de la línea de rechazo de la planta de pulpa de la Empresa Pedro Sotto Alba y la demanda real que se necesita para mover estos equipos para una productividad de 470 toneladas horas de rechazo, que es la productividad que desea establecer esta planta en estos momentos.

Tabla 3.27. Gasto de electricidad por concepto de consumo de los equipos.

Máquinas	consumo más/h	kW al día	kW al año	precio del kW	Gasto en dólares
Transportador C0-2	6	144	48960	0,27	13219,2
Transportador C0-12	12	288	97920	0,27	26438,4
Transportador C0-14	6	144	48960	0,27	13219,2
				Total	52876,8
	necesidad	al día	al año	precio del kW	Gasto en dólares
Transportador C0-5	8	192	65280	0,27	17625,6
			se ahorraría		35251,2

La tabla 3.27 trata de mostrar de forma simple el ahorro por concepto de pago de electricidad que tendría la empresa si se cambian los motores de los

transportadores C0-2, C0-12 y C0-14, por motores de potencias inferiores a los instalados y cercanos a la potencia que se necesita para mantener los volúmenes de producción que se propone procesar la planta, para un ahorro de 52 876,8 dólares.

Remplazando el motor existente en el transportador C0-5 para evitar la paradas por sobrecarga, se debería instalar un motor de 27 kW esto significa 8 kW más del que se encuentra instalado, por lo que la empresa debería abonar 17625,6 dólares por concepto de consumo de energía. De todas formas le quedarían por concepto de ahorro por la sustitución de los motores 35 251,2 dólares.

Tabla 3.28. Pérdida de dinero por concepto de paros no planificados.

Tiempo	turno	pérdida día	pérdida mensual	pérdidas año
15	2	30	900	10800
Dinero				
236,5	2	473	14190	170280

Con una productividad estable de la planta de pulpa de 1080 t/h, se obtiene en espesadores 550 t/h de mineral seco. Si ocurre una avería o afectación por sobrecarga de 15 minutos como es frecuente, se deja de obtener en espesadores 137,5 t/h de mineral seco. Esto significa una pérdida de 236,5 dólares. Si esto se calcula por los dos turnos de trabajo durante el año, según la tabla 3.28 la planta de pulpa perdería un monto de 170 280 dólares.

### **3.9. Conclusiones del Capítulo III**

De los resultados obtenidos en el presente capítulo podemos concluir:

- 1- La criba Sn-06 está por debajo de la capacidad de procesamiento de la planta.
- 2- El cilindro lavador se encuentra siendo explotado muy por encima de su capacidad lo que trae consigo que el mineral este menos tiempo dentro del lavadero disminuyendo su eficacia.
- 3- Los transportadores C0-2, C0-12 y C0-14 se encuentran sobre dimensionados, es decir, los motores están muy por encima de los de lo que se necesita para los volúmenes de producción de la planta, incrementando el consumo eléctrico de la planta.
- 4- El transportador C0-5 no tiene la potencia necesaria en el motor, para lograr una productividad de 170 toneladas por hora, por lo que se hace necesario redimensionarlo.
- 5- En general todos los equipos se encuentran procesando mineral por encima de su capacidad de diseño, sometiendo a estos a una sobreexplotación.

## **CONCLUSIONES GENERALES.**

- 1- En la bibliografía analizada o estudiada se observa que los diferentes elementos que componen las plantas de preparación de mineral han sido ampliamente estudiados de forma independiente por varios autores.
- 2- Observamos que los transportadores C0-13 y C0-14 se encuentra sobredimensionados en el ancho de banda, pudiéndose reducir su velocidad para mejorar su eficiencia.
- 3- La criba Sn-06 y el cilindro lavador están por debajo de la capacidad de procesamiento de la planta.
- 4- Los transportadores C0-2, C0-12 y C0-14 se encuentran sobre dimensionados en potencia de los motores, están muy por encima de lo que necesitan para garantizar los volúmenes de producción que se quieren obtener, incrementando el consumo eléctrico de la planta.
- 5- El motor del transportador C0-5 no tiene la potencia requerida para lograr una productividad de 170 toneladas por hora, por lo que se hace necesario su cambio por uno de 27 kW.
- 6- En general todos los equipos se encuentran procesando mineral por encima de su capacidad de diseño, sometiendo a estos equipos a una sobreexplotación.
- 7- Si se cambia los motores de los transportadores disminuirían las paradas por mantenimiento y sobrecargas, y se ahorraría 205531,2 dólares.



## RECOMENDACIONES

1. Instalar un motor de 27 kW en el transportador CO-5 con el objetivo de incrementar su capacidad productiva.
2. Instalar otra criba de tambor paralela y similar a la instalada con el objetivo de satisfacer el lavado de mineral, con mayor eficiencia y productividad.
3. Seleccionar otra criba vibratoria similar a la instalada y colocarla paralela a la existente, con el objetivo de garantizar que la productividad actual se divida en las dos corrientes de cribado.
4. Cambiar la potencia de el motor del transportador C0-5 por un motor de 27 kW.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Andéiev, S. E.; Perov, V. A. y Zveriévich, V. V. *Trituración, desmenuzamiento y cribado de los materiales*. Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de la Habana, Cuba, 1987. Pág. 98-116 y 266-284.
2. Barallobre Pérez, Evis Neovis. *Identificación de las Clases Practicas de Laboratorio y Recuperación de la Instalación de Transportadores de la Nave de Beneficio para la Asignatura de Equipos de Transporte Industrial*. Trabajo de diploma. Dpto. Ing. Mecánica, Facultad Metalurgia y Electromecánica, ISMM. 2008.
3. Blanco Suárez, Liubel. *Determinación de los Parámetros Tecnológicos para el Diseño de un Transportador de Paletas Hundidas para la Planta de Preparación de Mineral de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara*. Trabajo de diploma. Dpto. Ing. Mecánica, Facultad Metalurgia y Electromecánica, ISMM. 2008.
4. *Catálogo de bandas transportadoras*. Indy. Hispania 1996.
5. Costa Novella E. *Ingeniería Química 2 Fenómenos de Transporte*. Editorial Alambra, Primera Edición 1994.
6. Cruz Viera Luís. *Introducción a la Ingeniería Química*, Tomo II. Editorial ISJAE, La Habana, 1985.
7. Delfino Navarro, Yorileisy. *Análisis y Selección del Sistema de Transporte del Mineral Serpentinítico desde la descarga del Teleférico hasta la Planta las Camariocas para el Proyecto Ferroniquel*. Trabajo de diploma. Dpto. Ing. Mecánica, Facultad Metalurgia y Electromecánica, ISMM. 2004.
8. Fedosiev, V. I. *Resistencia de Materiales*. Editorial MIR, Moscú, Tercera Edición, 1985. Pág. 67.
9. FIRESTONE HISPANIA S.A (España). Catálogo de bandas transportadoras.1999.
10. FIRESTONE HISPANIA S.A (España). Catálogo de bandas transportadoras. 2000.
11. Galano Matos, Carlos. *Análisis del Sistema de Transporte del Mineral Sólido desde la descarga de los Secaderos hasta la descarga de los Silos en la Planta de Ferroniquel*. Trabajo de diploma. Dpto. Ing. Mecánica, Facultad Metalurgia y Electromecánica, ISMM. 2004.

12. Kasatkin A. G. Operaciones Básicas y Aparatos de la Ingeniería Química, Tomo I y II. Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de la Habana, 1985.
13. KAUMAN S.A (España). Catálogo de productos para bandas transportadoras. 2000.
14. Matiushev, L. G; Sumin, V. N. *Dispositivos de transporte y depósitos de las fábricas de enriquecimiento*. Editorial Vineshtorgizdat, Moscú, 1985. 206 p.
15. Manual de operaciones de la planta de pulpa de la Empresa Pedro Soto Alba.
16. Navarrete Pérez, E. y González Martín, R. *Mantenimiento Industrial* Tomo I. Editorial MES ISPAJE, Ciudad de la Habana, 1986.
17. Noa Osorio, Alcides. “*Diseño de un transportador para la planta de carbón de la Empresa Puerto Moa “Raúl Díaz Argüelles”*”, Proyecto de Ingeniería Mecánica III. Moa, 2011.
18. Oriol Guerra, José M. *Conferencia de Máquinas de transportadoras*. ISJAE, Ciudad de la Habana, Cuba, 1986.
19. Oriol Guerra, José M. *Máquinas de transporte continuo*, Tomo I. Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de la Habana, Cuba, tercera reimpresión 1987. Pág. 93-166.
20. Oriol G. J. M.; Aguilar P. F. *Máquinas de transporte continuo*, Tomo I. Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de la Habana, Cuba. 1995.
21. Ortiz, Ronelkis. *Explotación de los Transportadores de Banda del Taller 01 de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara*. Trabajo de diploma. Dpto. Ing. Mecánica, Facultad Metalurgia y Electromecánica, ISMM. 2006.
22. Potapob N. G. *Máquinas de Transporte*. Editorial Niedra. 1980.
23. Quesada Fajardo, W. F. *Coefficiente constructivo en transportadores de banda*. Minería y Geología, Cuba, 1993, Vol. X, No 3, 34 – 38.
24. Rásumov, K. A. y Perov, V. A. *Proyecto de fábricas de preparación de minerales*. Editorial MIR, Moscú, 1985. Pág. 334.
25. Shubin, V. S. y Pedre, C. *Diseño de Maquinaria Industrial*, Tomo IV. Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de la Habana, 1984. Pág 48-340.
26. Sierra Pérez R. *Estudios de las propiedades físico – mecánicas del mineral laterítico influyente en los transportadores de banda*. Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo. Colombia. ISSN. 1900 – 771X Vol. 2. 2006.



27. Sierra Pérez R. *Perfeccionamiento de la Metodología de cálculo de los transportadores de banda*. Tesis de maestría. Dpto. Ing. Mecánica, Facultad Metalurgia y Electromecánica, ISMM. 2005.
28. Spibacoski A. O., Potapob M. G. *Máquinas y Complejos de Transporte en las Labores Mineras*. Editorial Nedra. 1983.
29. Toll Macias P. P. *Estudio del Movimiento Dinámico de las Cargas a Granel, sobre el órgano portador de los transportadores de banda*. ISMM. Facultad de Metalurgia-Electromecánica. 1993.
30. *Transportadores de bandas*. [2004-04.22].  
<http://www.esbelt.com/imatges/quadre4.gif>.
31. *Transportadores de bandas*. Zaragoza. [2004-05.10].  
<http://www.iaf.es/enciclopedia/tusa/banda.htm>.

## Anexo 1

Tabla 1- Coeficiente de disminución de productividad.

$\beta$ (grados <sup>0</sup> )	0-10	10-12	12-14	14-16	16-18	>20
$\varphi$	1	0.98	0.96	0.94	0.92	0.90

Tabla 2- Valores del coeficiente Kc.

Tipo de banda	Plana	Acanalada							
Ángulo de reposo del material	15	20	20	30	30	35	35	45	45
		15	20	15	20	15	20	15	20
Coeficiente Kc	240	470	550	550	625	580	650	625	690

Tabla 3- Anchos de banda Normalizados y números de capas.

Ancho de la banda B, mm.										
300	400	500	650	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
Número de capas; i										
2-4	3-5	3-6	3-7	4-8	5-10	6-12	7-12	8-12	8-12	9-14